



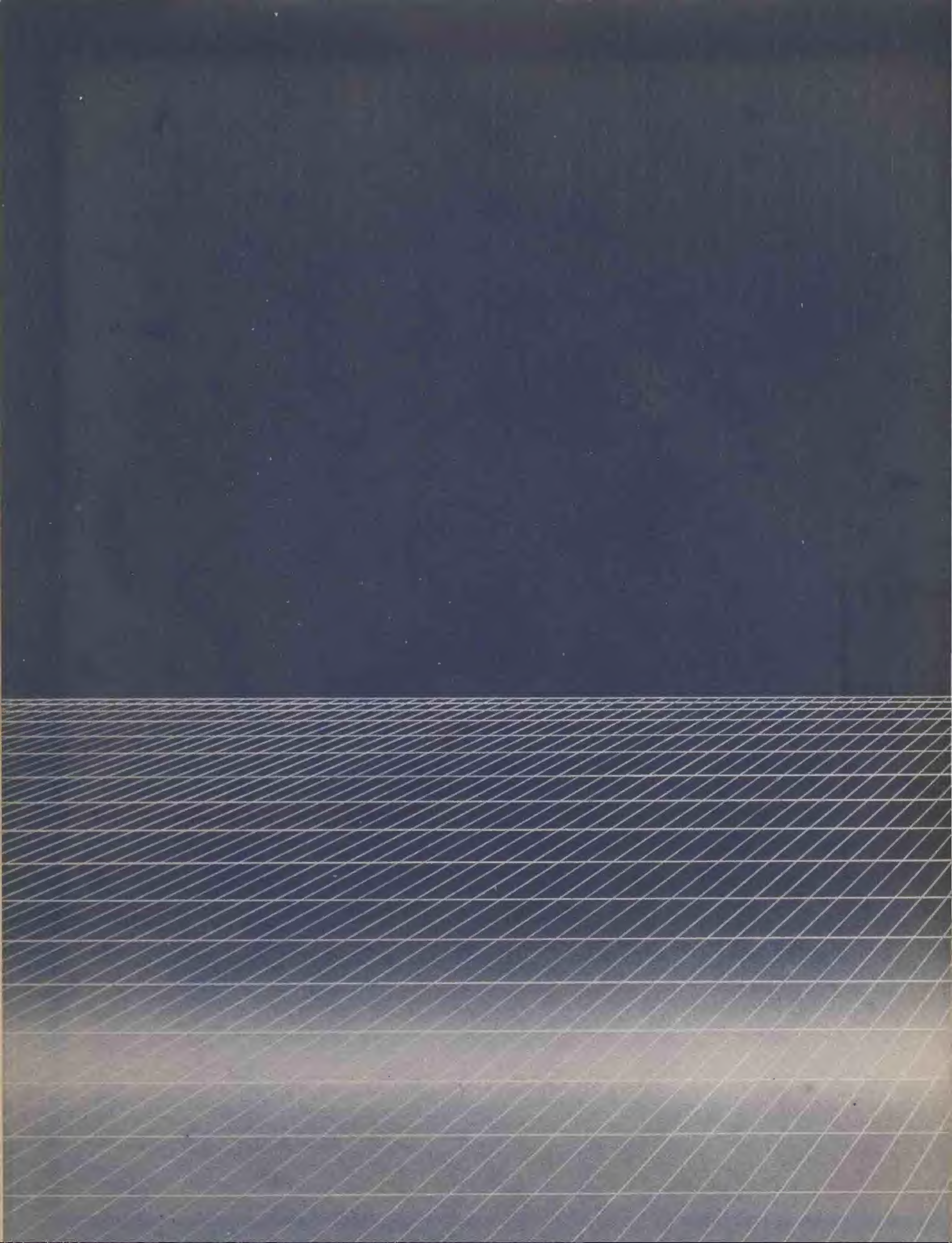
Ciencia y Técnica

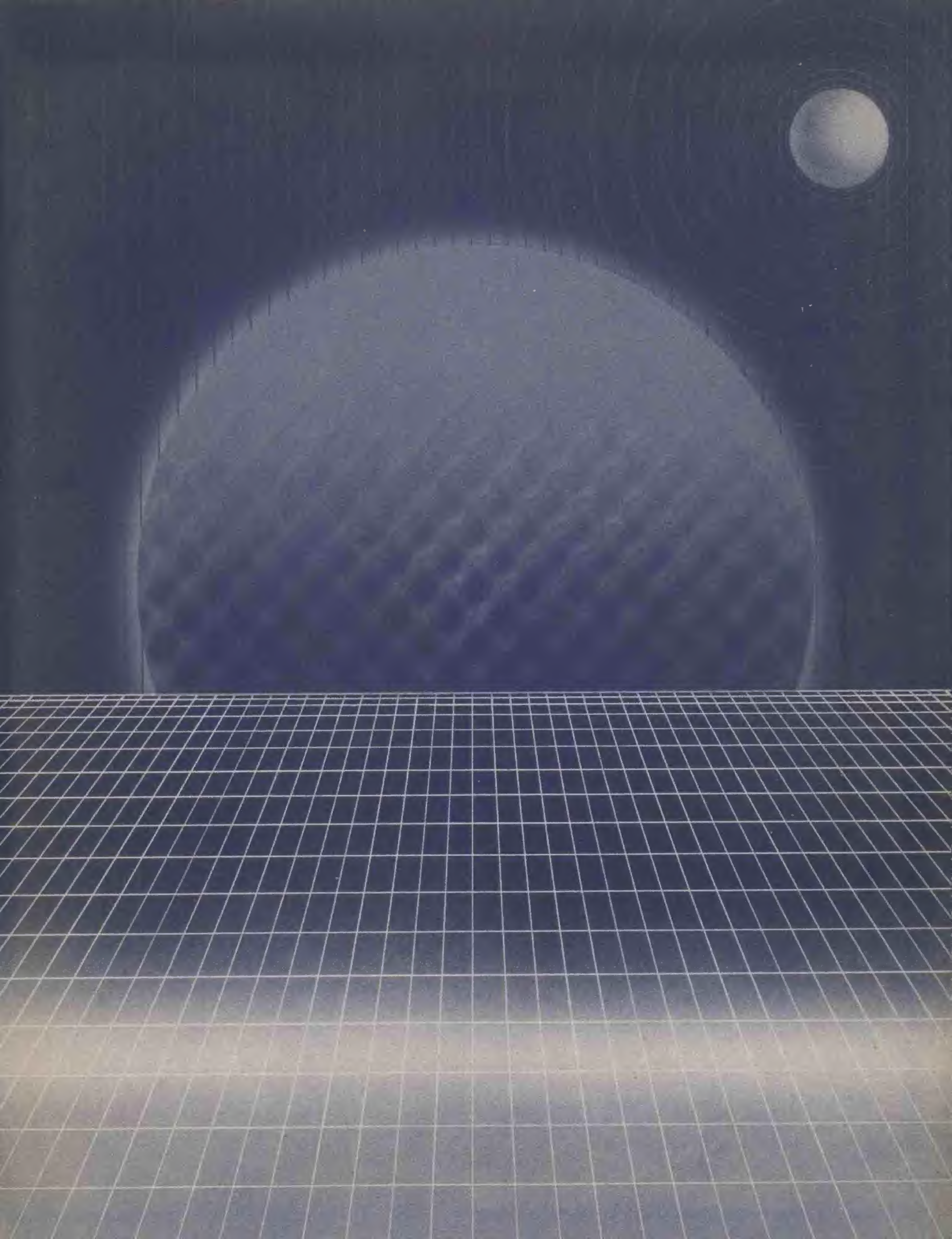
1

ABACO
ARBIX

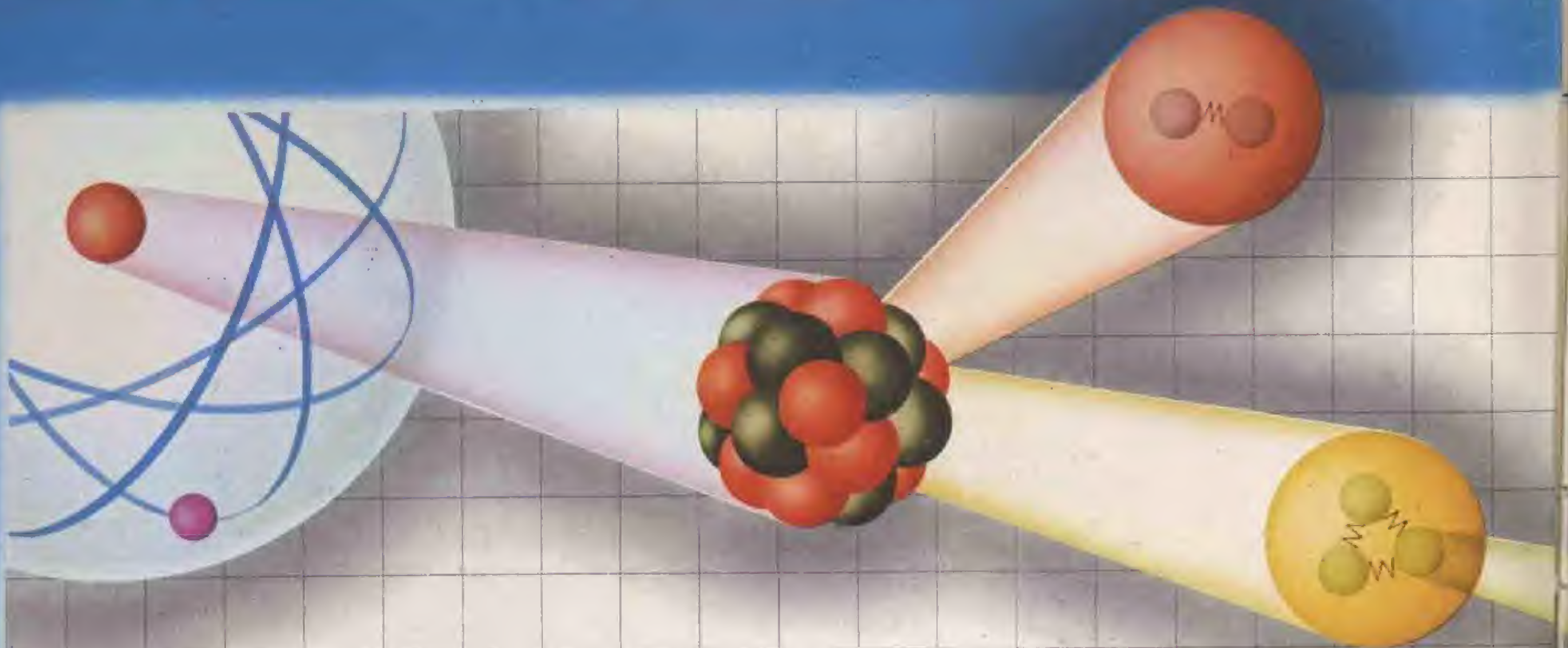
SALVAT



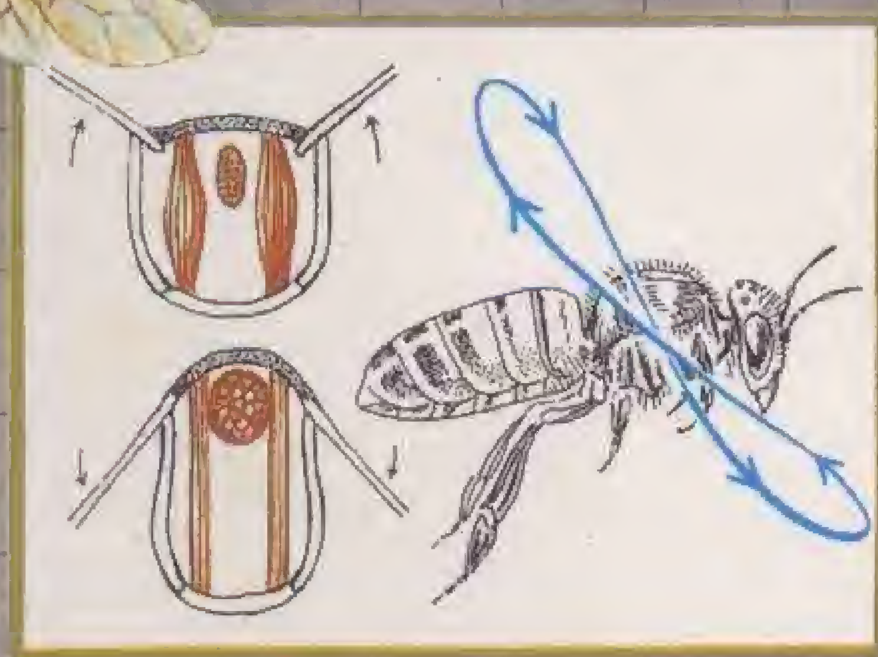




ENCICLOPEDIA SALVAT DE
Ciencia y Técnica







Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España

Impresión:
Imprenta Hispano-Americana, S.A.
Mallorca, 51, Barcelona-1985
Depósito Legal: NA-890-1985
ISBN 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN 84-345-4491-1 (Volumen-1)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black – Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlwitz – Corinna Gardner – Barbara George – Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris – Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil – Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee – Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink – Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
Fernando Catalá, *Ingeniero del PSI, Madrid*
Antonio Coloma, *Universidad Autónoma de Madrid*
José M. Cruz Valdovinos, *Universidad Autónoma de Madrid*
Juan J. Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Complutense*
Francisco Grande Covián, *Universidad de Zaragoza*
Francisco Gutiérrez Contreras, *Universidad de Granada*
Jesús Jiménez, *Ingeniero del PSI, Madrid*
Antonio López Ontiveros, *Universidad de Córdoba*
José M.ª López Piñero, *Universidad de Valencia*
Nieves Meléndez, *Universidad Complutense*
Rosa María Miracle, *Universidad de Valencia*
José M. Morán, *Universidad Politécnica de Madrid*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto "Torres Quevedo" del C.S.I.C.*
Francisco Velilla, *Universidad Politécnica de Barcelona*
Eduardo Zamarripa, *Piloto*

Consejo de Redacción

Prólogo

En la cotidiana realidad social que en los pueblos civilizados ha llegado a ser el empleo de la técnica —encender una bombilla eléctrica, viajar en automóvil o en avión, conectar la televisión o el lavavajillas, comprar unas tabletas de aspirina— se articulan más o menos armoniosamente tres órdenes o niveles de la actividad humana: la creación, la invención y la utilización.

Llamo ahora creación al hallazgo de los hechos de observación y de las verdades científicas que han dado lugar a la técnica de que se trate. Sin la famosa marmita de Papin, los estudios de Watt y las geniales investigaciones del malogrado Sadi Carnot sobre "la potencia motriz del fuego" no hubiera sido posible la industria del vapor. Sin la tan célebre fórmula $E=mc^2$, de Einstein, no habrían existido la bomba atómica y las centrales nucleares. Sin las investigaciones experimentales y teóricas sobre las descargas eléctricas a través de gases enrarecidos, no hubiese nacido la electrónica. "En el principio fue la ciencia", cabe decir ante las constantes, fabulosas novedades de la técnica.

Tras la creación, la invención; tras el sabio teórico, el ingeniero. Millares y millares de ingenieros, unos geniales y modestos otros, han logrado convertir en técnicas socialmente utilizables las innumerables creaciones científicas que desde fines del siglo XVIII dan honra a los pueblos de Occidente. Industrias mecánicas y del vapor, industria de la electricidad, industria química, motor de explosión, energía nuclear, ingeniería cibernética, navegación espacial; a partir de los iniciadores de la Revolución Industrial, en la tranquila Inglaterra ilustrada, tales son las etapas principales en la moderna conversión de la ciencia en técnica. Hombres en los cuales se han unido el investigador y el inventor, como Edison, Siemens y von Baeyer, o inventores más o menos directamente apoyados en las creaciones científicas de anteriores "sabios puros", como Morse, Stephenson y Marconi, son los protagonistas de la fabulosa tecnificación del mundo a que estamos asistiendo los hombres del siglo XX.

En esta situación, no sólo los habitantes de la gran ciudad, también, en medida creciente, los habitantes del campo, todos nos hemos convertido en incesantes usuarios de técnicas. Desde que por la mañana encendemos la luz eléctrica o detenemos el timbre del despertador, hasta que antes de acostarnos desconectamos el televisor y la lámpara de nuestra mesilla de noche, sólo instrumentos técnicos nos rodean: y en tantas y tantas ocasiones, incluso durante las horas del sueño, cuando parece que el organismo del durmiente, privado de vida de relación, se ha quedado solo consigo mismo, porque dentro de nuestro cerebro está operando la técnica química que dio realidad al somnífero o al tranquilizante ingerido. Técnica para trasladarnos de un sitio a otro, para comunicarnos unos a otros, para comer, porque apenas hay alimento que no haya sido industrialmente fabricado o preparado, para limpiarnos y vestirnos, para el trabajo, para la diversión, para el amor, si, como con tanta frecuencia acontece, los amantes quieren evitar la descendencia, para prevenir o curar la enfermedad, para morir y volver a ser polvo inerte... El hombre se ha convertido en depredador de la naturaleza y en consumidor de técnica; y hasta cuando, llegada la vacación, se propone sumergirse durante unas horas o unas semanas en el seno de la Madre Naturaleza —la playa, el bosque, la cima serrana, el acotado jardinillo del chalé—, sólo como usuario y víctima de la técnica logra hacerlo.

Ahora bien: ¿cómo el hombre de la calle, el que no es creador de ciencia técnicamente utilizable, ni especialista en la fabricación y el conocimiento —¡o en la reparación!— de los aparatos que a diario emplea, el simple comprador y usuario de ellos, cómo ese hombre se sirve de la técnica que esos aparatos le ofrecen? Tres son las principales respuestas que la sociedad actual da a tal interrogación:

1.ª La propia de los pueblos subdesarrollados: los que con el sacrificio de muchos de sus ciudadanos emplean sus materias primas y su trabajo en comprar productos industriales —automóviles, armas o televisores— fabricados en los países capaces de ello, y manejados luego sin más ciencia que la necesaria para saber dónde está "el botón que hay que apretar". Qué enorme tristeza la que producen esas imágenes cinematográficas o televisivas en que el jefe de un Estado recién nacido a la historia sube a su Mercedes o a su Cadillac, rodeado de armas automáticas cuyos portadores saben cargar y disparar, mas no pasan de ahí; o, sin tan aparente patetismo, esos grupos de chabolas

que disparan al cielo bosques de antenas de televisión, sin que sus míseros habitantes, compradores del opio que el televisor cada noche les brinda, tengan la más elemental idea de lo que la invención y la fabricación de ese aparato representan en la historia del hombre.

2.ª La que con su conducta están dando, en las sociedades hoy más desarrolladas, esos innumerables e ignorantes sabelotodo, opulentos unos, simples asalariados otros, que gastan lo que tienen o casi lo que no tienen en la ansiosa compra de todo lo que el constante y rápido avance de la técnica y la insaciable sed de lucro de quienes la explotan, tan llamativamente ofrecen *urbi et orbi*: el último vídeo, la última cámara fotográfica, el ultimísimo ordenador de uso personal, el nunca visto y nunca oído desodorante, el juguete supersofisticado. La tremenda expresión agustiniana acerca del hombre, *bestia cupidissima rerum novarum*, "animal avidísimo de cosas nuevas" —cosas nuevas, esto es lo grave, que se usan, no se entienden y son desechadas tan pronto como otras más recientes surgen en el comercio—, parece inventada para los voraces compradores de productos técnicos en que psicológica y económicamente se basa la sociedad de consumo. El opio de la evasión que la técnica es en las sociedades subdesarrolladas, se trueca en ese opio del hedonismo que tan extensa y arraigadamente es la técnica —la tecnofagia, más bien— en el seno de las sociedades del hiperdesarrollo.

3.ª ¿Cabe una tercera respuesta? Pienso que sí. No me refiero, en cualquier caso, a la utopía de una sociedad en la cual, junto a los hombres de ciencias y a los ingenieros, los simples consumidores de técnicas sepan con suficiente precisión lo que científica y técnicamente son los utensilios que manejan. ¿Cómo pedir, no ya al operario o al menestral, sino al más culto de los universitarios medios, conocer cómo se fabrica la aspirina que ingiere, o cómo las radiaciones emitidas por un centro de televisión se hacen imágenes movientes, sonoras y coloreadas en la pantalla de su aparato, o qué sucede cuando se oprime un interruptor para que sobre su cabeza luzca una bombilla eléctrica? Pura e irrebasable utopía. Pero si no es imaginable que el hombre de la calle utilice la técnica desde la ciencia, desde el *episteme*, diría un griego, sí puede ser aconsejable, acaso exigible, que la maneje desde la sensatez, desde la *phrónesis*. Diré cómo entiendo yo esta posibilidad.

Imaginemos un hombre que ha recibido una enseñanza media razonable. Razonable, digo: apta para orientarle dentro de la enorme complejidad intelectual, técnica y social del mundo en que vive, y capaz de imbuir en su alma una formación ética que le impida ser esclavo de la técnica, porque convincentemente le haya hecho ver que sólo sirviendo a la dignidad del hombre, por tanto al libre ejercicio de su inteligencia, su voluntad y su vocación, sólo así puede tener sentido la utilidad de los artefactos que a todos nos rodean. Sigamos imaginando que ese hombre guarda en su biblioteca una enciclopedia científico-tecnológica mediante la cual, llegado el caso, pueda conocer en sus líneas generales lo que en el orbe de las ciencias y las técnicas y en la dinámica de la sociedad y la historia son las que en aquel momento le interesan. Ese hombre se hallará tan distante del subdesarrollo a quien la técnica seduce, porque por un momento le concede la ilusión de haberse evadido del subdesarrollo, como del consumista al que embriaga la jactancia de caminar en volandas de una invención técnica a otra. Junto al investigador y al ingeniero será, en suma, la pieza necesaria para que la sociedad a que pertenece merezca con pleno derecho ser llamada racional y humana. Títulos estos, preciso es reconocerlo, que sólo con gran benevolencia pueden ser hoy discernidos a muchos de los pueblos que forman la vanguardia de la civilización.

Tal es, a mi juicio, la función que la Enciclopedia Salvat de Ciencia y Técnica puede y debe desempeñar en la educación científica y técnica de la sociedad de habla española.

PEDRO LAIN ENTRALGO

Catedrático emérito de Historia de la Medicina, Académico de las Reales Academias de la Historia de la Medicina, de la Lengua y de la de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Abaco

En la actualidad, cuando un cálculo es demasiado largo o complicado para realizarlo mentalmente, o con papel y lápiz, se recurre a la calculadora de bolsillo o, incluso, al gran ordenador para llevarlo a cabo. Antiguamente —y aún hoy entre algunos pueblos primitivos— se utilizaban medios físicos simples, como los dedos de las manos o colecciones de piedrecillas, para hacer operaciones aritméticas elementales. Nuestra palabra *cálculo* procede de la latina *calculus*, que significa piedra y nos recuerda el origen modesto de la matemática.

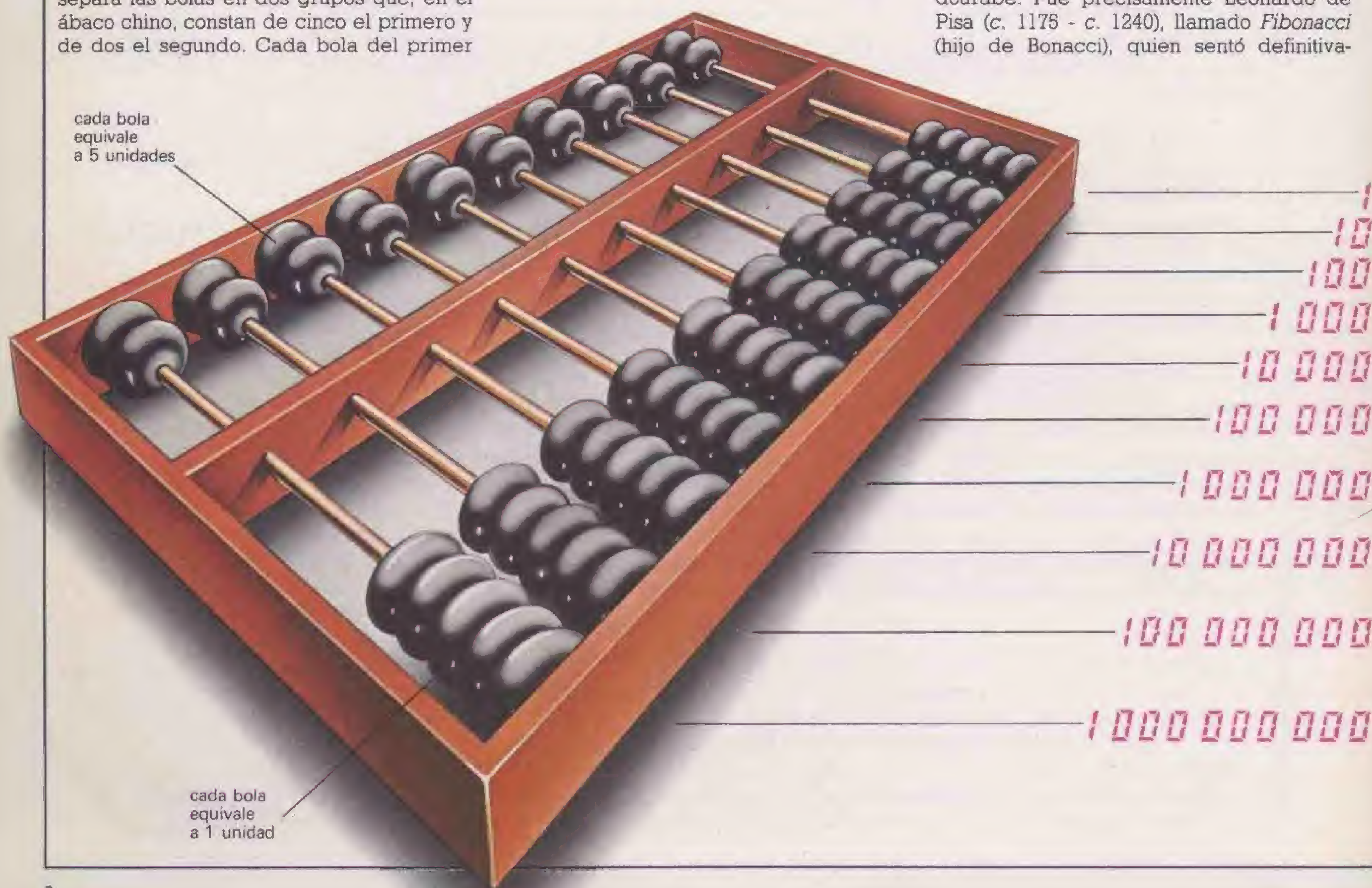
Hace más de cinco mil años y, probablemente, de un modo independiente en varias culturas —Extremo Oriente, India, Mesopotamia, etc.— aparecen unos dispositivos más complejos, formados por varillas y bolas, de diferentes formas según lugares y épocas, que sirven para representar números y realizar operaciones aritméticas. Se trata de lo que en Occidente llamamos *ábaco* (del latín *abacus*, derivado quizás de la palabra semítica *abq*, que significa polvo o arena y que señala el primitivo uso de ésta como elemento útil para contar), los chinos *suan-pan*, los japoneses *soroban*, los incas *quipus*, etcétera.

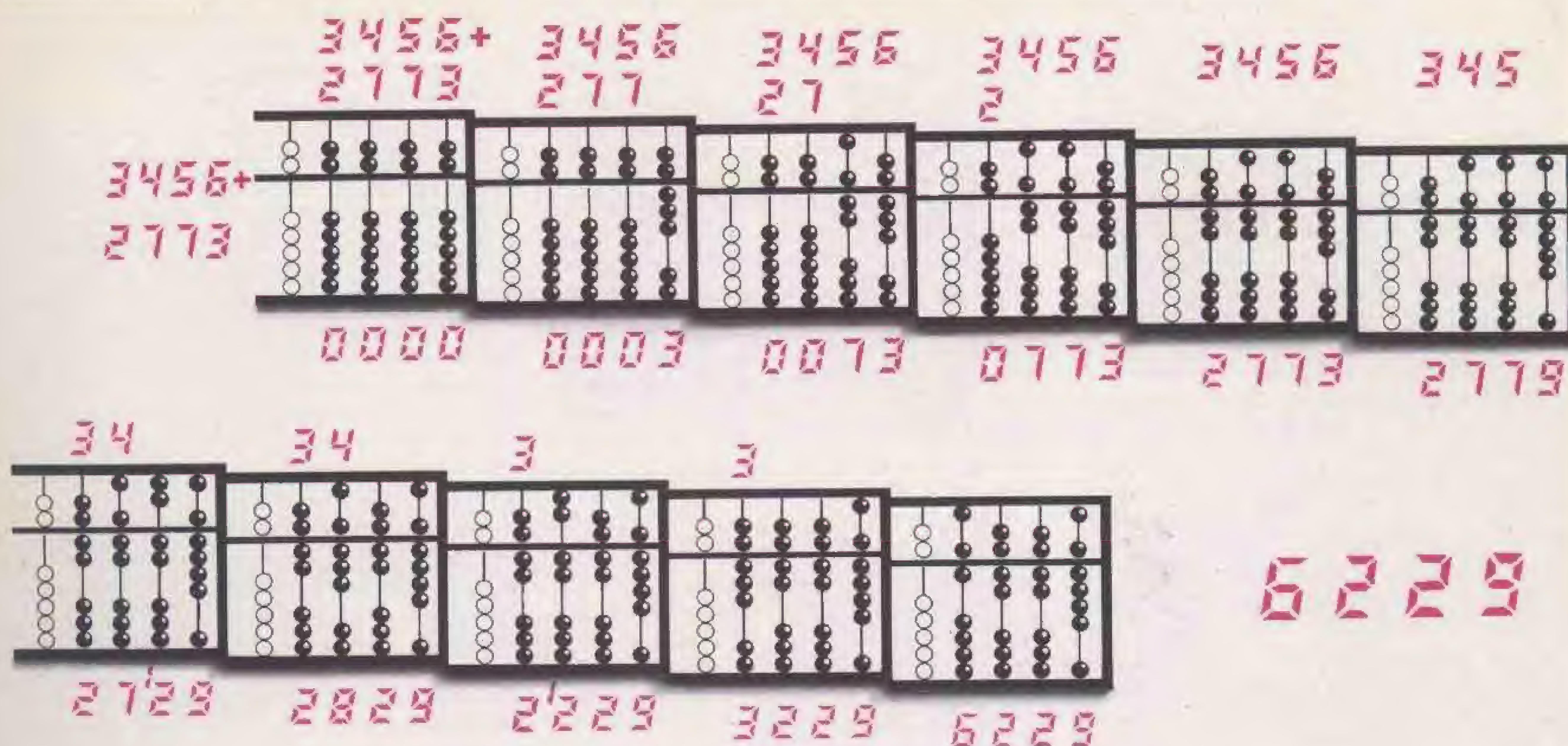
En su forma más simple, el ábaco está constituido por un marco rectangular dentro del cual se alinean una serie de varillas en las que están ensartadas unas bolitas deslizables. Si se observa un ábaco, se verá que las varillas están divididas perpendicularmente por una barra o listón que separa las bolas en dos grupos que, en el ábaco chino, constan de cinco el primero y de dos el segundo. Cada bola del primer grupo representa una unidad, y cada una del segundo, cinco unidades. Las varillas, cuyo número es variable, equivalen a columnas de cifras escritas, representando la primera columna, comenzando por la derecha, las unidades, y las otras, sucesivamente hacia la izquierda, representan, respectivamente, las decenas, las centenas, los millares, las decenas de millar, las centenas de millar, etc. En el ábaco japonés los dos grupos de bolas de cada varilla constan, respectivamente, el primero de cuatro, equivalentes cada una de ellas a una unidad, y el segundo, de una, que representa cinco unidades. Existe también una versión decimal con diez bolas en cada varilla sin separador transversal.

Como ejemplo, véase cómo se opera con el ábaco chino que hemos descrito. Para iniciar la representación, deben situarse las bolas en los respectivos márgenes externos; también puede adosarse un grupo a su margen externo y el otro al separador transversal. Para "escribir" un número, por ejemplo el 12.345, se llevará hacia el separador transversal una de las bolas de la quinta varilla por la derecha (la columna de las decenas de millar): esto registra sobre el ábaco 1 x 10.000; luego, se deslizarán hacia el citado separador dos bolas de la cuarta varilla por la derecha, registrando entonces 2 x 1.000; en las varillas de las centenas y de las decenas se mueven respectivamente tres y cuatro bolas; y en la varilla de las unidades, el operador puede desplazar las cinco bolas que valen una unidad cada una, o una sola bola de las que representan cinco unidades, colocadas al otro lado del separador. Obsérvese que el número representado consta de cifras iguales o menores a cinco. Si fuesen superiores a ese valor, habría que tener en cuenta que cada bola de lo que hemos llamado "segundo grupo" representa cinco unidades, cinco decenas y así hasta el valor que corresponda a la última varilla.

Con el ábaco no sólo pueden representarse números; también pueden realizarse operaciones matemáticas sencillas: véase la suma de la página siguiente.

Se comprenden fácilmente algunas de las ventajas de los cálculos con ábaco frente a los hechos a mano; pero a poco que se reflexione se llega al pleno convencimiento de la superioridad de estos en muchos aspectos. Sin embargo, durante milenios estos fueron imposibles, porque se carecía de un sistema de numeración que permitiera representar cualquier número y, lo que es igual o más importante, realizar operaciones aritméticas mediante reglas o *algoritmos* clara y sencillamente establecidos. Los griegos y romanos, por ejemplo, utilizaban representaciones de los números a base de signos alfabéticos, carecían del concepto y signo del *cero* y, consecuentemente, de métodos de cálculo. En Occidente se prolongó esta situación y, por tanto, el uso del ábaco hasta el siglo XIII, en que se impone el sistema de numeración y los algoritmos decimales de origen hindoárabe. Fue precisamente Leonardo de Pisa (*c.* 1175 - *c.* 1240), llamado *Fibonacci* (hijo de Bonacci), quien sentó definitiva-





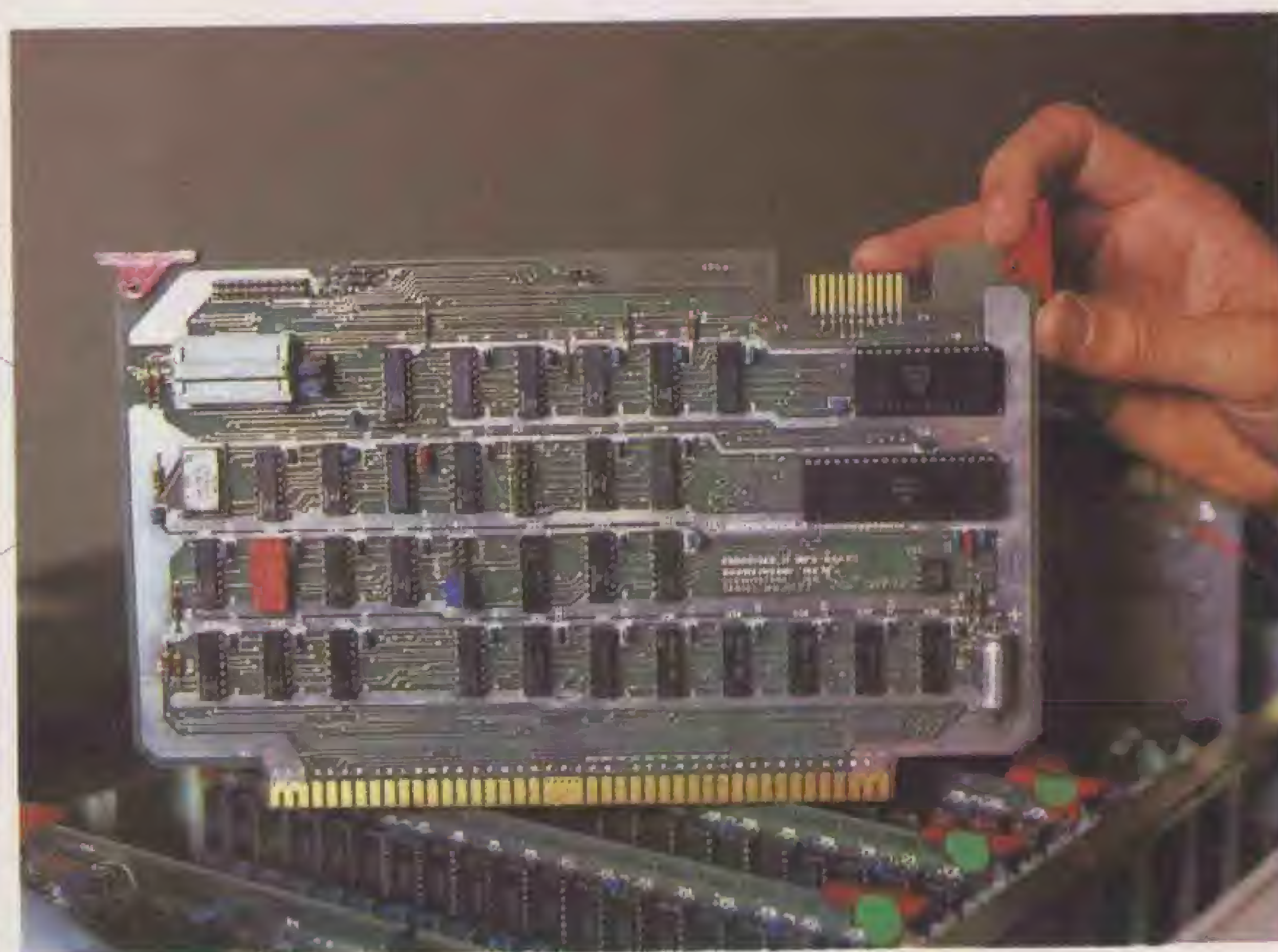
El dibujo representa los pasos sucesivos que son precisos para sumar dos cantidades (3.456 y 2.773) en un ábaco chino como el descrito en la página anterior. En el primer dibujo aparecen las bolas situadas en la posición adecuada para iniciar cualquier representación o cálculo. Los cuatro dibujos siguientes recogen los movimientos para representar el número 2.773, siguiendo las mismas reglas explicadas en el texto para el número 12.345. La suma comienza en el sexto dibujo, en el que sólo se modifica, respecto del anterior, la varilla de las unidades. Véase que a las 3 unidades del número 2.773 se agregan las 6 unidades del 3.456, resultando una varilla con 4 bolas de valor uno y 1 bola de valor cinco. Al pasar a la varilla de las decenas, nos encontramos con 2 bolas de valor uno y 1 bola de valor cinco; al agregarle otras cinco unidades —otra bola de valor cinco— la varilla queda de momento con 12 decenas (dos bolas de cinco unidades y dos bolas de valor una unidad); y como dos bolas de valor cinco equivalen a una unidad de orden superior, en este caso la centena, en la varilla de las decenas se dejan sólo dos bolas de valor uno, debiendo agregar en la varilla de las centenas a las 7 unidades ya existentes, la cifra 4 del número 3.456 y la centena que se ha formado en la varilla anterior. Operando de esa manera se llega al siguiente resultado: (5+1) en la 4ª varilla; (nada+2) en la 3ª; (nada+2) en la 2.ª; y (5+4) en la 1.ª varilla, que es equivalente a 6-2-2-9, que es el resultado de la suma. Abajo, en la foto, circuitos de un ordenador.

mente las bases del cálculo algorítmico en un libro que, paradójicamente, se titula *Liber abaci*. Con anterioridad se venía desarrollando una fuerte polémica entre los abaquistas, que contaron con figuras importantes como Gerberto de Aurillac (Papa Silvestre II, del 999 al 1003) conocedor, sin embargo, de las cifras hindoárabes, y los algoritmistas, que se "alimentaban" de las obras traducidas del árabe en España y Sicilia y de las experiencias recibidas en los contactos mercantiles y diplomáticos en el Mediterráneo. El propio *Fibonacci* recorrió las costas de este mar desde joven, acompañando a su padre, que era una especie de agente consular.

El triunfo de los algoritmistas no fue total, porque enseguida se comprobó que los cálculos muy complejos, largos o repetitivos era bueno hacerlos mecánicamente y empezó la búsqueda de las máquinas de calcular, herederas en parte del ábaco, al que perfeccionan, y en parte del algoritmo, al que mecanizan.

La historia que lleva del ábaco primitivo al ordenador electrónico pasa por múltiples etapas. Por ejemplo, en el siglo XVII, el francés Blaise Pascal, célebre matemático y filósofo, basándose en los principios del ábaco, dio un gran paso, inventando una máquina calculadora provista de ruedas dentadas, que funcionaba de manera similar a los "cuentakilómetros" actuales. También Leibniz se interesó por el tema en el mismo siglo. Pero el avance más notable no se alcanza hasta el siglo XIX, en el que Charles Babbage crea una máquina de calcular que tiene todas las características de nuestros ordenadores salvo dos: es muy lenta por no ser eléctrica ni electrónica sino mecánica, y no llegó a concluirse al serle suspendido el apoyo financiero del gobierno inglés a su creador.

Véase **Algoritmo; Cálculo numérico; Ordenador; Sistemas de numeración**



J. Montoro Arch. Salvat

Abeja

El tipo de abeja que tenemos ocasión de ver más frecuentemente, que construye su nido sobre las plantas y en huecos de las paredes y de los árboles, que produce cera y miel, que recolecta su alimento en las flores, y que nos pica si la molestamos, es la abeja común (*Apis mellifica*). Aunque ciertas variedades —como las abejas leñadoras— viven y trabajan individualmente, las abejas, en general, constituyen un ejemplo típico de insecto social.

La colmena La comunidad o *colonia* que forman las abejas es una verdadera organización constituida por varios elementos que desempeñan funciones distintas; esta organización actúa, se comunica, toma decisiones y se reproduce como si se tratara de un único ser. Una abeja sola no puede sobrevivir más de tres días fuera de su colmena. Una colonia típica está formada por un número de individuos que oscila entre 20.000 y 50.000. El centro de la colonia está representado por el nido o colmena, que puede estar situado en el tronco de un árbol o en el hueco de una pared —este es el caso de las abejas productoras de miel—, en refugios excavados en el suelo —como los individuos de la familia *Bombidae*— o en estructuras construidas por los apicultores para la cría de abejas.

Tres tipos de abejas Cada colonia está formada por tres tipos diferentes de abejas: las obreras, los zánganos y la abeja reina. Cada una de estas castas cumple misiones específicas y tiene una estructura anatómica característica que le permite llevar a cabo su trabajo de la manera más eficaz. Las *obreras*, hembras estériles, constituyen la mayoría de los individuos de una colmena; son éstas las abejas que solemos ver en los campos y jardines. De hecho, a ellas les corresponde la importante misión de conseguir el alimento. Son ellas las que producen la miel y la cera, además construyen el panal, se encargan de su cuidado y desempeñan acciones defensivas contra los posibles enemigos. En la práctica, las obreras realizan todos los trabajos esenciales exceptuando la puesta de huevos; su vida tiene una duración que varía entre seis semanas y algunos meses.

El cuerpo de las abejas obreras está estructuralmente adaptado a la recolección del néctar y del polen de las flores, que constituyen la materia prima para la producción de la miel, base de su alimentación. Su aparato bucal tiene una estructura adaptada a su régimen alimenticio: es un aparato lamedor-chupador, en el que los maxilares modificados forman una especie de trompa que introducen en el interior de las flores para succionar el néctar. Las abejas encargadas de ir a buscar el néctar reciben el nombre de recolectoras. Sus patas posteriores están provistas de un mecanismo característico destinado a la recogida del polen: la *escobilla* para cepillar el polen de los estambres y el *cestillo*, pequeña concavidad donde depositan el polen y lo trasladan a la colmena.

El papel que juegan las abejas en el proceso de polinización de las flores es esencial. Cuando una abeja se posa en una flor para libar el néctar, se depositan sobre su dorso minúsculos granos de polen procedentes de las anteras y quedan retenidos en la capa de pelos que cubre parte de su cuerpo; después, algunos caerán en la siguiente flor sobre la que se pose la abeja, facilitando así la polinización cruzada.

El néctar es transportado a la colmena en una cavidad especial que recibe el nombre de *estómago de la miel*. Ya en la colmena, las abejas recolectoras regurgitan el néctar, que servirá de alimento a las abejas no adaptadas a la recolección del mismo: en sus estómagos, este néctar experimenta una transformación química por la que se convierte en miel. Después, ésta es almacenada en unas celdillas construidas con tal propósito, en cuya entrada se deposita una fina capa de cera que impide que pueda salirse la miel. Este es el alimento de las abejas adultas, y como sólo se produce dentro de la colmena, las abejas que permanezcan mucho tiempo fuera de ella pueden morir de inanición. Las abejas están dotadas también de unas glándulas secretoras de cera para construir los panales.

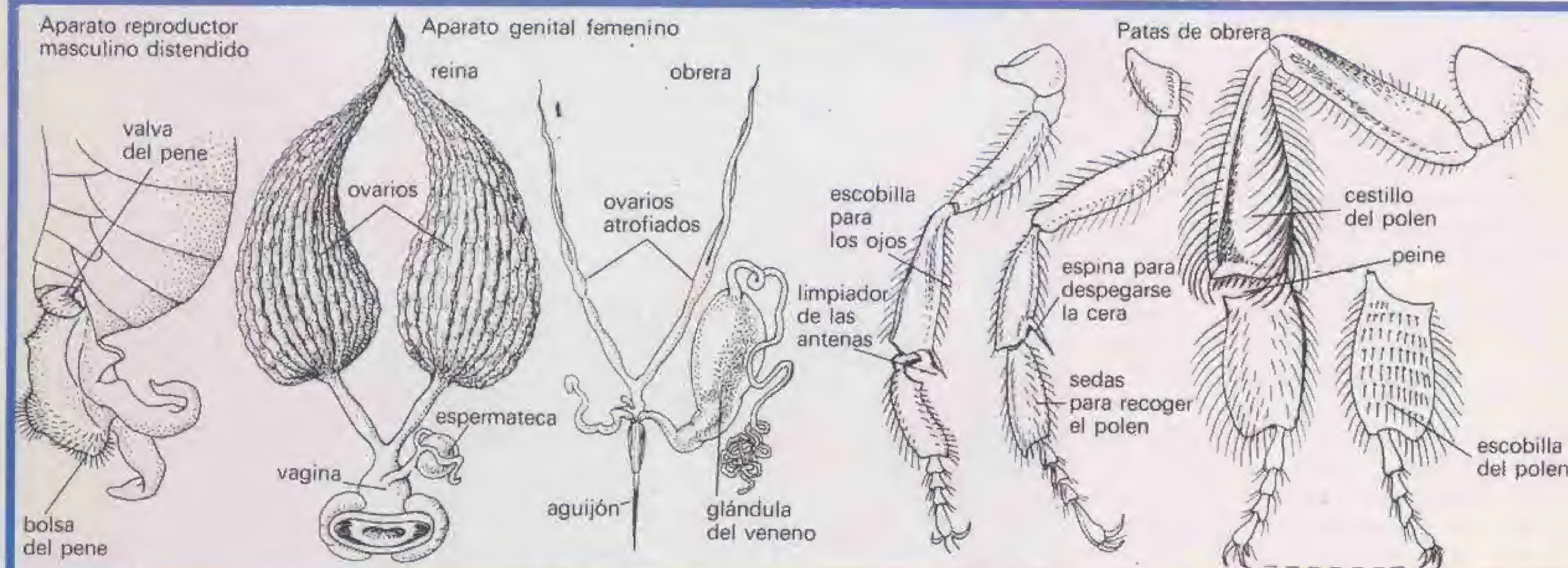
Las abejas obreras disponen además de un *aguijón* muy fino, situado en el último segmento del abdomen, y que utilizan como arma defensiva.

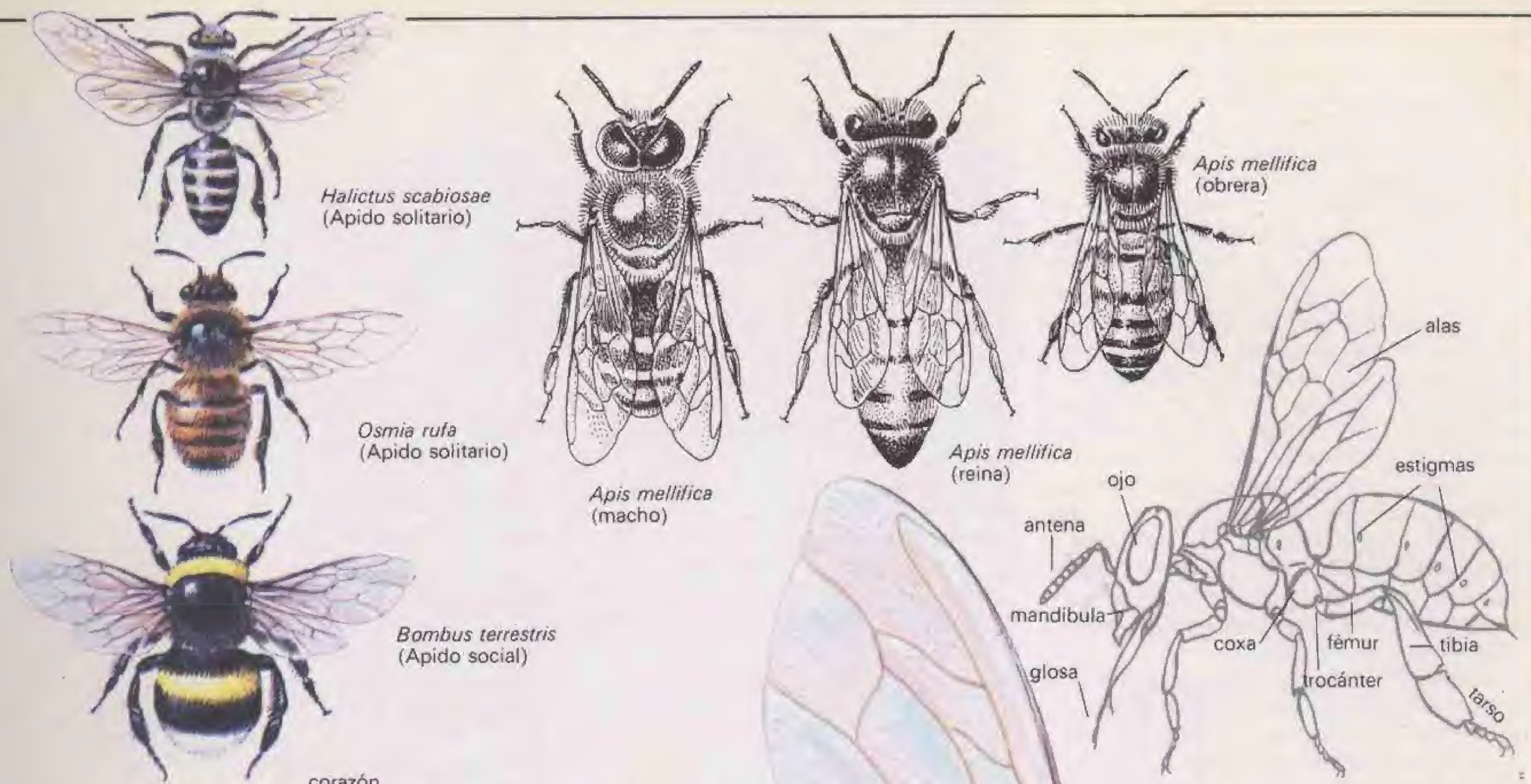
El aguijón está unido a las glándulas productoras de veneno; este veneno provoca una fuerte irritación en la piel cuando el hombre es picado por una abeja, pero sólo existe peligro en el caso de picaduras numerosas o en personas con una alergia específica. El aguijón es un arma de defensa que puede ser fatal incluso para el propio insecto que lo posee; el aguijón de borde aserrado de las abejas melíferas es tan difícil de extraer de la víctima en la que se ha introducido, que en muchas ocasiones la abeja se desgarra en sus esfuerzos por extraerlo, llegando a morir.

Los machos de la colonia se llaman *zánganos*, son fértiles, corpulentos y pesados, y están desprovistos de las estructuras especiales que caracterizan a las obreras, inclusive el aguijón. Tienen una sola misión, la de aparearse con la abeja reina. La cópula tiene lugar durante el vuelo nupcial y los zánganos mueren poco tiempo después. El hecho de que constituyan un grupo consumidor y no productor, hace que, si en algún momento escasea el alimento, éstos sean expulsados violentamente de la colmena, quedando abandonados a su suerte.

En la colonia, la *reina* es la única hembra fecunda; su tamaño es mucho mayor que el de las obreras, y su abdomen, más largo y esbelto, termina en aguijón. Poco después de hacerse adulta —a los siete días de nacer— la reina sale de la colmena para realizar el vuelo nupcial, durante el cual es

Un ejemplo de sociedad jerarquizada, en la cual los distintos individuos llevan a cabo una actividad específica para satisfacer las necesidades de la colectividad a la que se encuentran subordinados, es el que ofrecen los insectos sociales. En la estructura social de estos insectos, entre los que se encuentran los Himenópteros, en particular las abejas, se establece una división de castas bien definida, con individuos fértiles, como la reina y los zánganos, e individuos estériles, las obreras, que tienen la misión de atender las necesidades de los primeros. (Los dibujos de la página siguiente ilustran las características de los distintos individuos).





corazón tubular
recto
tráquea
intestino
estómago
estilo del aguijón
glándula del veneno
aparato excretor (tubos de Malpighi)
estigma respiratorio
cadena ganglionar ventral
bolsa de la miel
esófago
aorta
antena
sacos aéreos
ganglios cerebrales
gnatencéfalo
maxila
lengua
mandíbula

Las hembras fértiles, mejor definidas por el nombre de abejas reina (en el centro del esquema de la parte superior), están representadas generalmente por un solo individuo en la comunidad.

Muy fecunda y bastante longeva, la abeja reina puede vivir hasta 4 ó 5 años, y durante toda su vida tiene una sola misión, la procreación.

Es fecundada por un individuo macho durante el vuelo nupcial, y conserva su esperma en la *espermateca*, dependiendo exclusivamente de su instinto el fecundar o no los huevos, con lo que pueden nacer abejas obreras o machos.

Los zánganos tienen una estructura bastante rechoncha, ojos grandes y carecen de órgano para la recogida de polen. Las abejas obreras, pequeñas y laboriosas (a la derecha en el esquema), son las que llevan a cabo la mayor parte de las tareas que se realizan en la colonia.

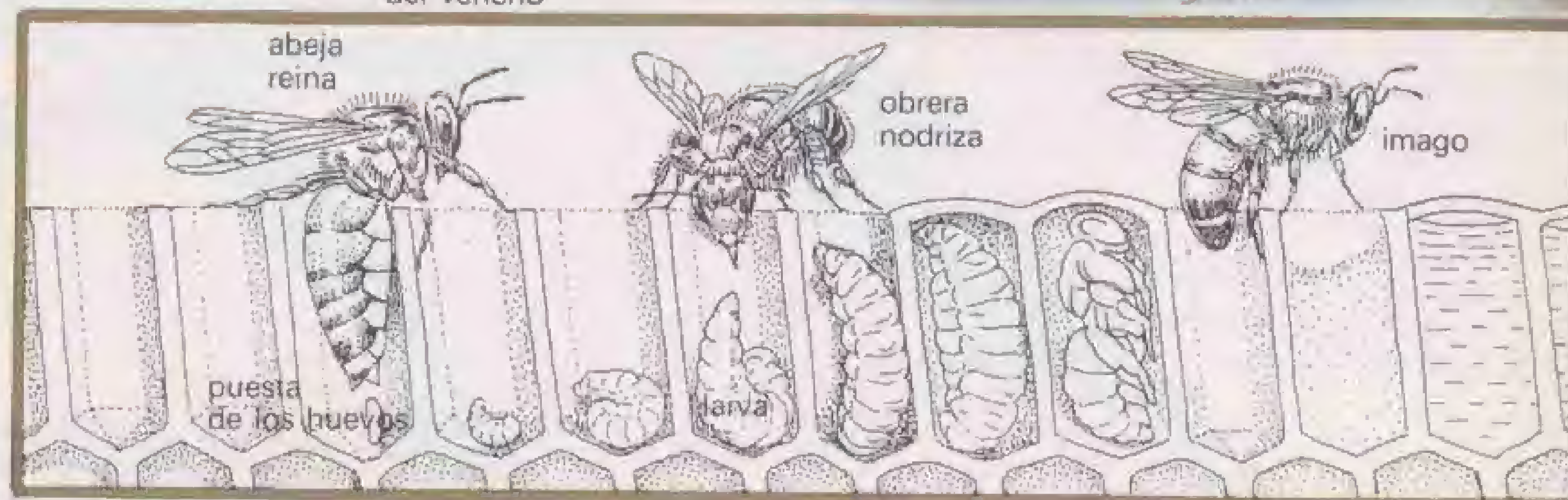
"cortejada" por los machos de la colmena, aunque sólo uno de ellos llega a fecundarla, transmitiéndole su esperma. Dada su estructura fisiológica, una abeja reina puede poner 2.000 huevos al día. Cada huevo es colocado individualmente en el fondo de una celdilla distinta, en la cual pasa por los sucesivos estadios de la metamorfosis, convirtiéndose de *huevo* en *larva*, y de larva en un individuo perfecto o *imago*, capaz ya de volar. Mientras están todavía dentro de las celdillas las larvas son alimentadas primero con una gelatina segregada por las obreras en el interior de sus cuerpos, después con una mezcla de polen y néctar que es muy rica en proteínas y finalmente con miel. Cada larva teje después en su celda un *capullo* formado por sustancias que ella misma segrega. En esta fase la larva recibe el nombre de *pupa*. Una o dos semanas después de haber tejido el capullo termina el desarrollo de la abeja y emerge el nuevo individuo.

Cuando la colmena está superpoblada, o cuando la reina envejece, ésta la abandona seguida por algunos miles de obreras. Este *enjambre* sale generalmente una tarde calurosa de verano. En un momento dado, la reina se detiene a descansar sobre la rama de un árbol y las obreras se agrupan alrededor de ella, mientras que algunas abejas exploradoras vuelan buscando el sitio más idóneo para el emplazamiento de la nueva colmena. En la antigua colmena, antes de marcharse, la reina ha dejado uno o más huevos de los que nacerá la nueva reina. Las obreras nodrizas crían estos huevos en unas celdas especiales, mayores que las destinadas a las obreras. Las larvas de reina son nutridas exclusivamente con "jalea real", jugo nutritivo procedente de las glándulas laríngeas de las nodrizas, hasta su completa metamorfosis. La primera en nacer se dirige a las demás celdas y mata a sus ocupantes y si nacen dos reinas al mismo tiempo se produce un combate "a muerte", ya que en la colmena no puede haber más de una reina.

Además de la reproducción sexual, en las abejas se da también otra forma de reproducción sin intervención del elemento masculino (partenogénesis): en este caso, el huevo, no fecundado, da lugar a un macho.

Una de las características más llamativas de las abejas es su "lenguaje". Los seres humanos se expresan utilizando sobre todo símbolos orales o escritos; las abejas se expresan tocando, palpando o danzando. Estas formas de comunicación son utilizadas sobre todo por las abejas exploradoras cuando descubren una fuente muy rica de néctar situada a demasiada distancia de la colmena como para que pueda ser vista u olida directamente por las demás abejas; para comunicar la posición en la que se encuentra la fuente de alimento estas abejas realizan una danza muy característica sobre la colmena; las demás se reúnen alrededor de las exploradoras y a continuación vuelan hacia el lugar señalado.

Véase **Artrópodos; Insectos; Miel**

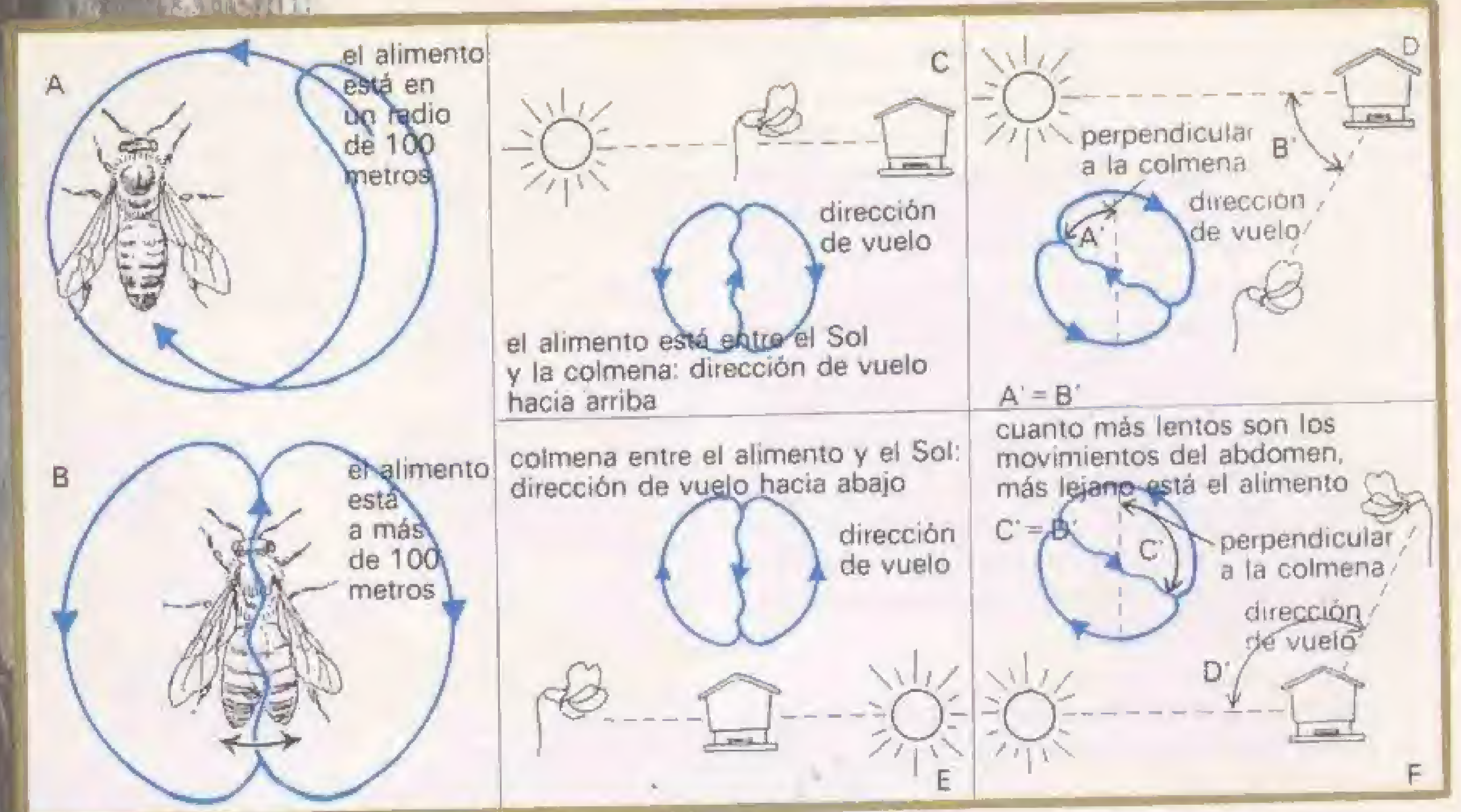


El dibujo de la parte superior representa una pequeña comunidad de abejas que ha construido su colmena en el tronco hueco de un árbol. La abeja reina está ocupada en la puesta de huevos dentro de las celdillas, mientras algunas obreras construyen un nuevo panal; las "guardianas" vigilan la entrada; las ventiladoras, batiendo las alas, aseguran la ventilación de la colmena. La cera utilizada para la construcción del panal es producida por unas glándulas que desembocan en el abdomen. Sobre estas líneas, en sección vertical de una parte del panal, puede verse, a la reina poniendo huevos en las celdillas, las larvas en distintos estadios de su desarrollo cuidadas por las obreras, y un joven *imago* emergiendo de su capullo.

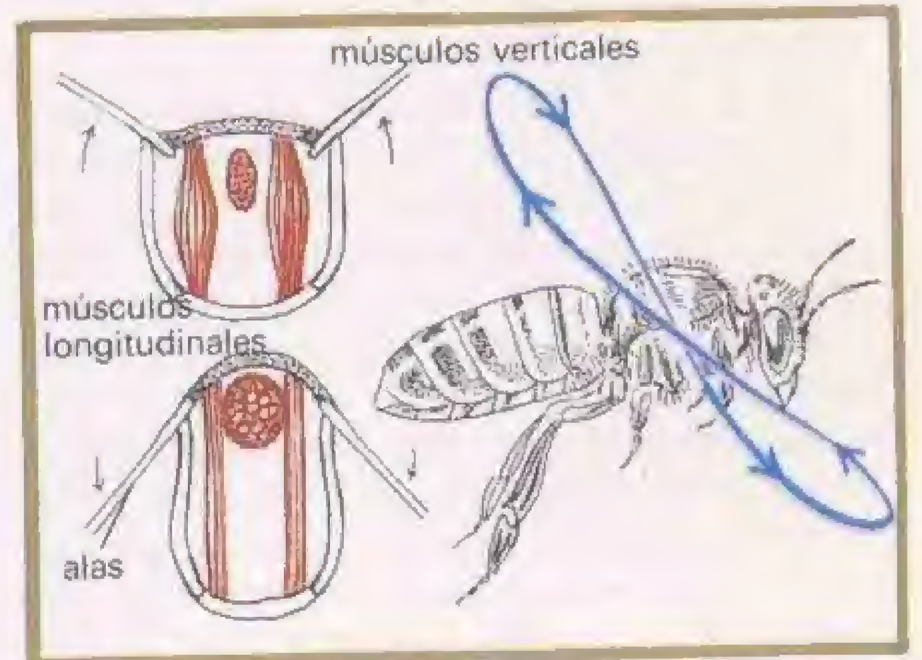
obreras
recolectoras

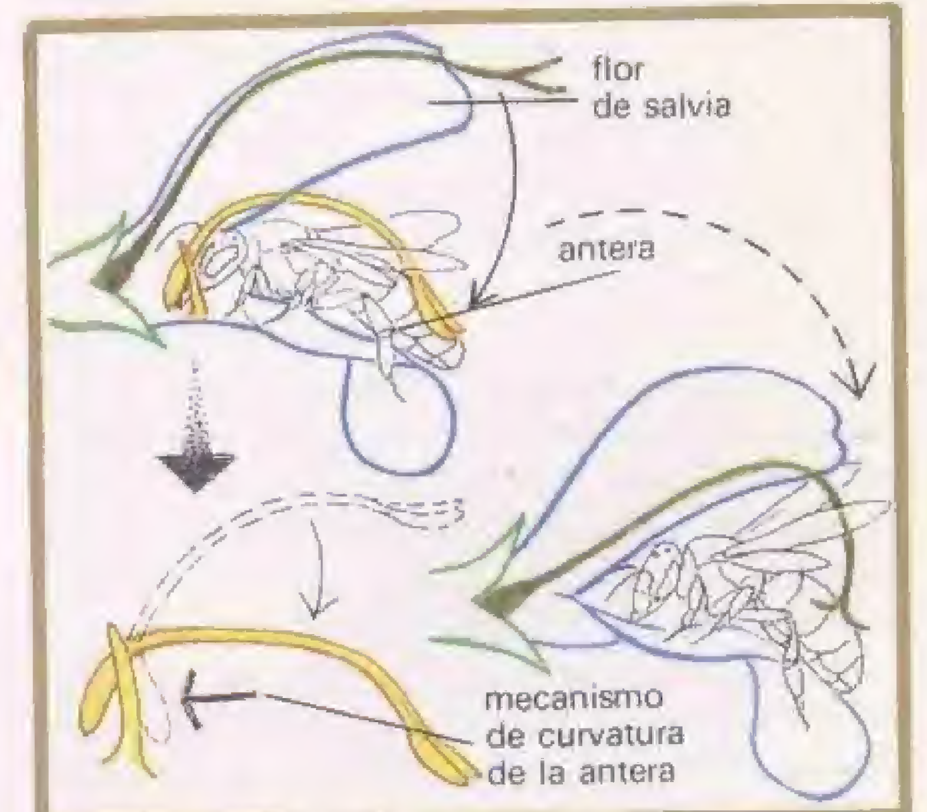
abejas
guardianas

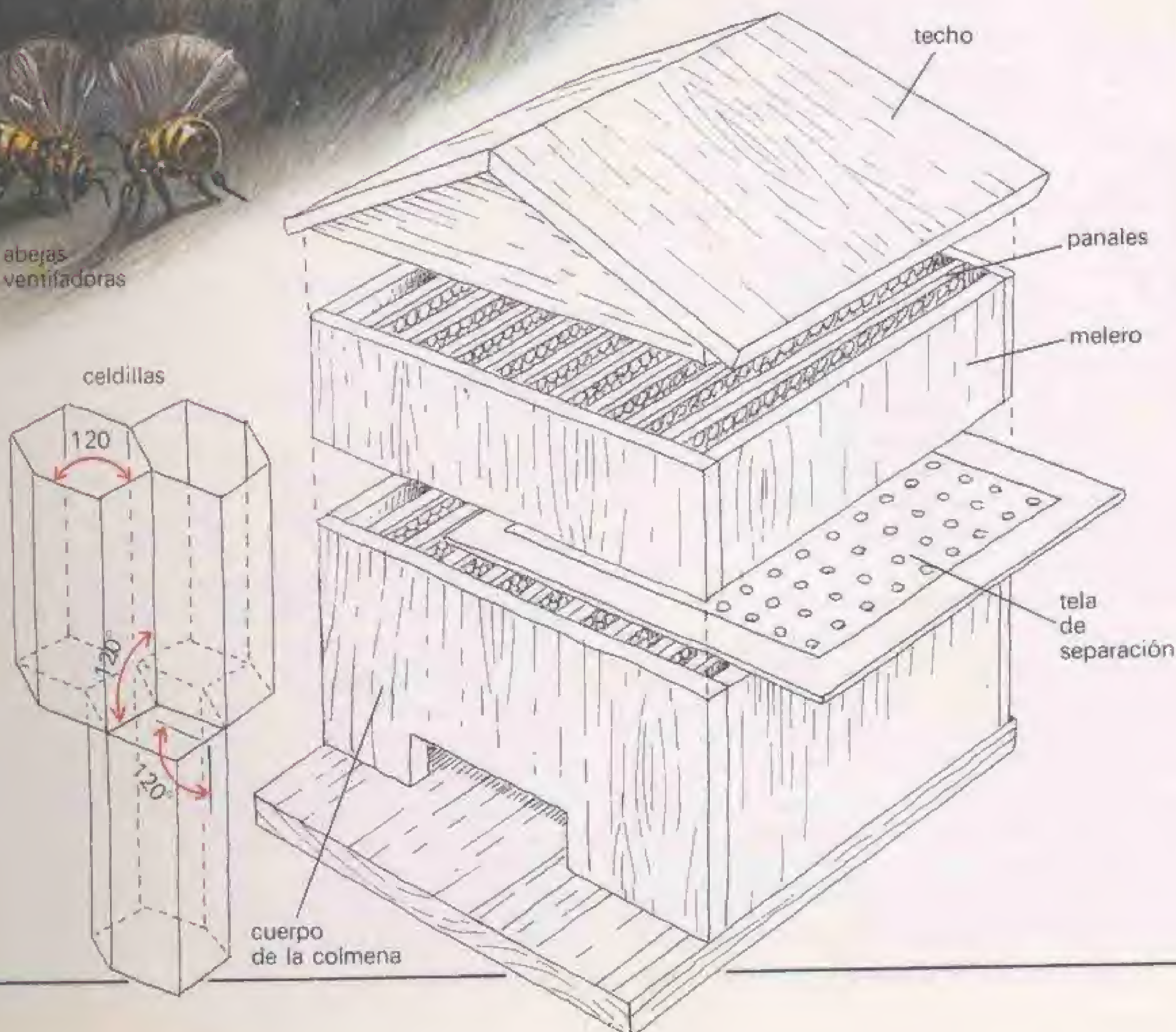
abejas
ventiladoras











La danza es uno de los medios que tienen las abejas para comunicarse con sus compañeras. Como recoge el esquema de la parte superior, con la "danza en círculo" (A), la abeja comunica que la fuente de alimento, una flor, está bastante cerca de la colmena; así como con la danza del abdomen (B), la abeja, haciendo oscilar el abdomen de derecha a izquierda, comunica que la fuente de alimento está a más de cien metros de distancia. Los esquemas C, D, E y F explican cómo la orientación del movimiento en la danza varía según la posición de la fuente de alimento respecto al Sol. En el centro, comportamiento de los músculos torácicos durante el vuelo y movimientos de las alas. Sobre estas líneas, polinización debida a las abejas: el polen cae sobre el dorso de la abeja y es transportado por ella cuando va a posarse en los pétalos de otra flor. Arriba, a la izquierda, esquema de un nido de abejas de la familia *Bombidae*, excavado en el suelo. Al lado, estructura de una colmena de producción de miel y detalle de tres celdillas contiguas y opuestas.

Acelerador de partículas

Las mayores máquinas existentes en la actualidad han sido proyectadas para estudiar una de las más pequeñas entidades conocidas: se trata de los aceleradores de partículas, que estudian el núcleo de los átomos. A pesar de encontrarse entre los dispositivos tecnológicamente más sofisticados y complejos de que disponemos, uno de los elementos indispensables en los que se basa su funcionamiento es... la suerte. Los aceleradores de tamaño reducido tienen aplicaciones prácticas, por ejemplo producir rayos X y radioisótopos de uso médico e industrial; en cambio, los grandes aceleradores se emplean para desvelar los secretos de la materia.

Qué hace el acelerador Antes de que se inventasen los aceleradores de partículas en los años 30 de nuestro siglo, algunos científicos se dedicaban a estudiar las reacciones entre átomos, dado que el estudio de los mismos y especialmente de sus núcleos es muy difícil debido a sus reducidísimas dimensiones. Efectivamente, si pudiéramos ampliar hasta el tamaño de un gran *auditorium* un átomo con sus electrones orbitando alrededor del núcleo, el tamaño de éste último sería el de una pequeña mancha en el centro.

Los aceleradores permiten estudiar los núcleos de esas partículas infinitesimales, gracias a la posibilidad de examinar las reacciones que ocurren cuando son golpeados por algo: de aquí su nombre popular "rompeátomos", que más correctamente debería ser "rompenúcleos". El sistema equivale a conocer y estudiar el material de que está constituido un objeto disparándole un proyectil a alta velocidad y observando cómo se fragmenta. Siguiendo el símil anterior, de la misma forma que los proyectiles han de ser más pequeños que el objeto que deben penetrar, para "romper" núcleos se emplean subpartículas: electrones y protones. Pero las probabilidades de incidir sobre un núcleo son tan bajas, que para lograr su propósito los científicos deben lanzar un haz entero de estos proyectiles nucleares contra su blanco, constituido frecuentemente por una fina lámina de metal con una superficie de algunos centímetros cuadrados. La mayor parte de los millones de partículas contenidas en el haz pasan a través de la lámina de metal como el humo entre las cuerdas de una raqueta de tenis, pero siempre existen probabilidades de que un reducido número de ellas pueda incidir y romper el núcleo. Las fuerzas que mantienen cohesionado el núcleo son tales —un millón de veces superiores a las que ligan los electrones al mismo— que las partículas han de ser aceleradas hasta velocidades altísimas para poder adquirir la energía que es precisa para romper un núcleo, de la misma manera que una bala disparada por un rifle penetra en un muro, mientras que el proyectil lanzado con una honda rebota.

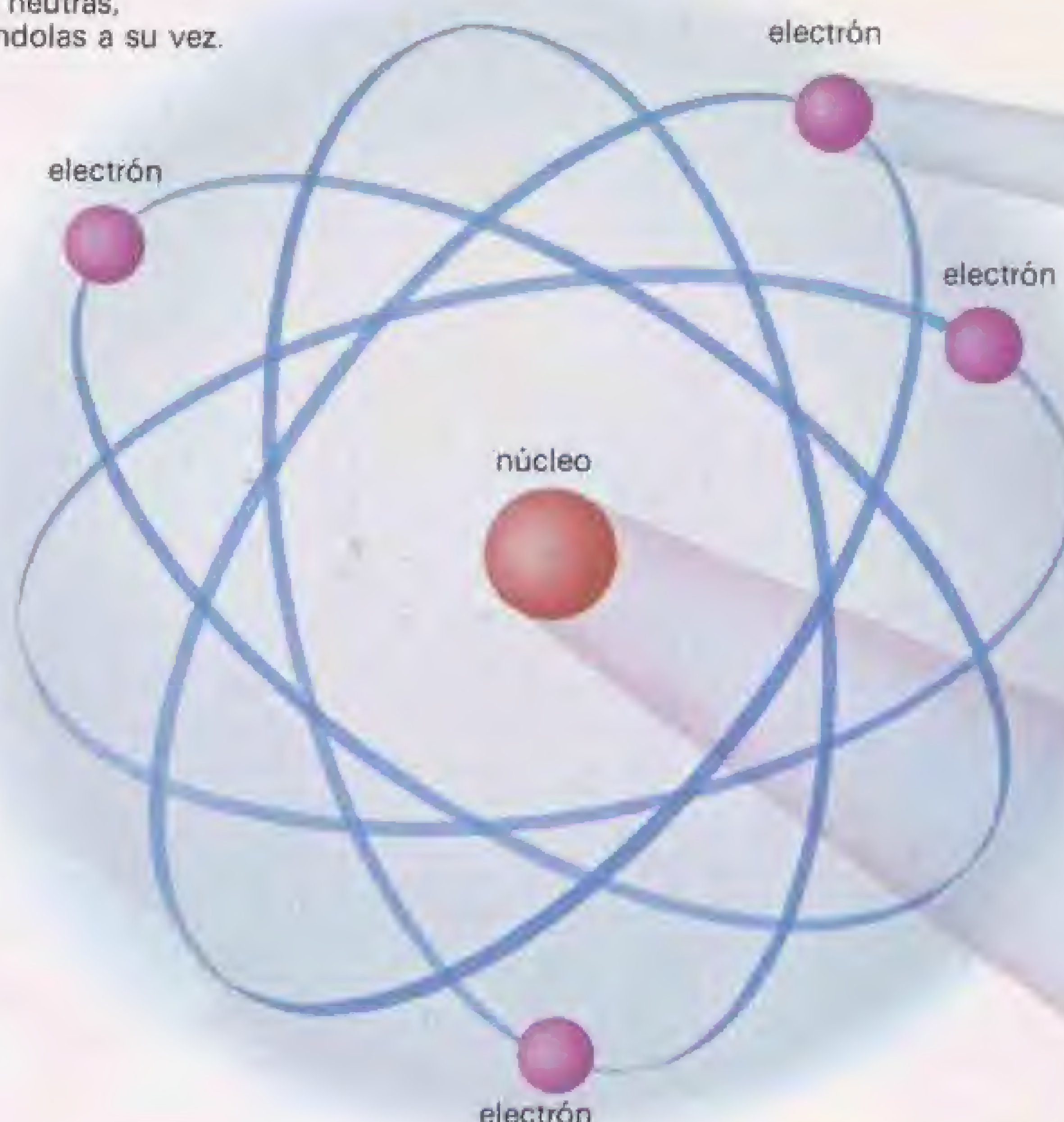
Las partes de un acelerador Un acelerador de partículas se puede considerar dividido en tres partes: una fuente que produce "proyectiles" nucleares; una pista por la cual se dispara y una área de blanco con un detector para medir la velocidad y la dirección de los fragmentos de los núcleos que han sido impactados.

Todos los aceleradores se sirven de campos eléctricos para dar una velocidad alta a las partículas. Un campo está constituido por una zona en la cual actúa una fuerza; un campo eléctrico positivo, por ejemplo, repele otras cargas positivas y atrae, en cambio, las negativas. La pista del acelerador está dividida en segmentos con forma de anillo que se pueden cargar positiva o negativamente, generando así campos positivos o negativos. Cuando un grupo de partículas de carga positiva, por ejemplo los protones, llega a las cercanías de un segmento de carga negativa es atraído por éste hacia adelante. Una vez alcanzado el segmento, la carga de éste se invierte y, al ser negativa, da a los protones un "empuje" desde atrás.

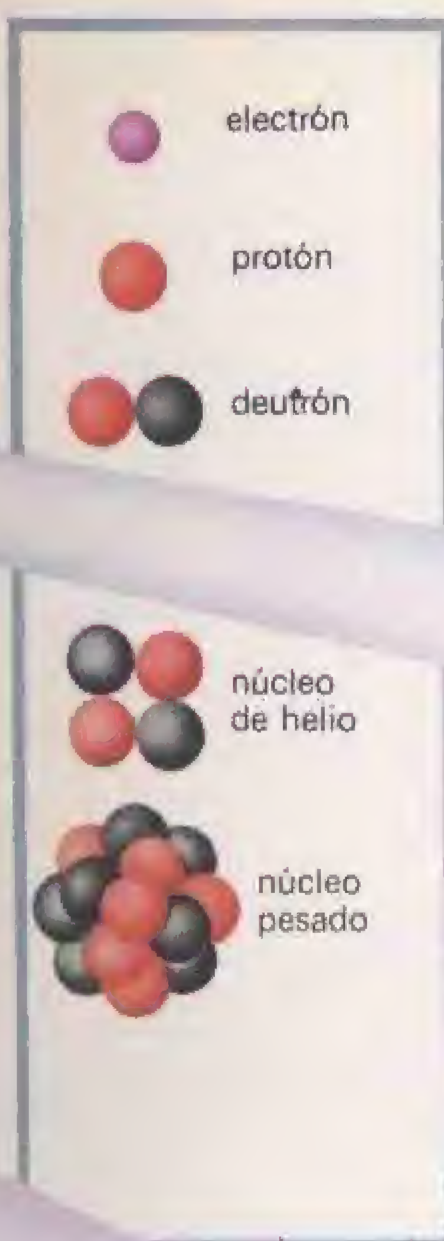
Este método es la única forma conocida de acelerar partículas. Debido a esto, sólo pueden emplearse como "proyectiles" las partículas con carga eléctrica, como electrones o protones, ya que son el único tipo de "vehículo" que se puede hacer avanzar por la "autopista" nuclear. Para evitar que las partículas sean obstaculizadas al chocar con las moléculas de aire, la pista debe mantenerse al vacío.

Se llama *lineal* a un acelerador cuya pista es rectilínea. Naturalmente, cuanto más larga sea la pista, mayor será la velocidad que podrán alcanzar las partículas, de la misma manera que un avión puede conseguir una mayor velocidad cuanto más larga sea la pista de despegue. El acelerador lineal instalado en la Universidad de Stanford mide más de tres kilómetros y acelera las partículas hasta casi la velocidad de la luz.

Sin embargo, estos aceleradores lineales tienen evidentes limitaciones prácticas debidas tanto al coste como al espacio. Para remediar esta dificultad, en 1932 el físico estadounidense E. O. Lawrence construyó un acelerador de resonancia magnética, o *ciclotrón*, que ocupaba un espacio mucho más reducido y empleaba un campo magnético para acelerar las partículas en una pista con forma de espiral o más o menos circular. También los campos magnéticos, como los eléctricos, actúan sobre las partículas cargadas, pero haciéndolas moverse en dirección perpendicular a la del movimiento inicial. Lawrence colocó la fuente de partículas en el centro de un gran electroimán cilíndrico. Cuando cada partícula es acelerada imprimiéndole una trayectoria hacia el exterior, el campo magnético la desvía en ángulo recto respecto a la dirección inicial de la carga eléctrica. Por tanto, la partícula sigue un recorrido en forma de espiral desde el centro hacia el exterior. El impulso eléctrico lo suministran dos segmentos en forma de D, cada uno de los cuales cubre aproximadamente la mitad de la pista en espiral. Cuando la partícula atraviesa el espacio que separa las dos D, estos segmentos adquieren la carga necesaria para atraer, uno, y empujar, el otro, a la partícula. Conforme se aleja siguiendo la espiral, la partícula recorre una trayectoria cada vez más larga; por ello, en cada vuelta

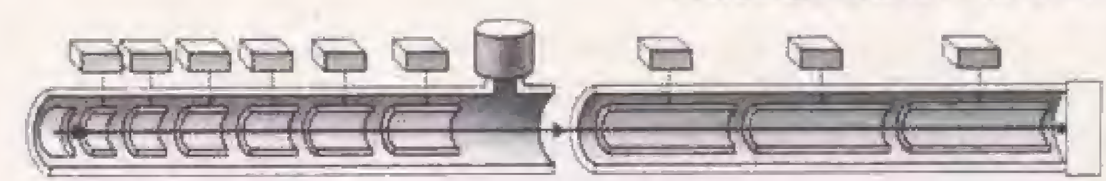


Cuando se habla de acelerar partículas, se trata ante todo de partículas subatómicas. A la derecha vemos la estructura esquematizada de un átomo con el núcleo en el centro y la corona de electrones que gira a su alrededor. Los electrones se pueden acelerar porque son partículas con carga eléctrica, al igual que los núcleos. También pueden acelerarse los protones, que son los fragmentos cargados de los núcleos. Sin embargo, no es posible acelerar los neutrones, partículas de los núcleos sin carga alguna, ni cualquier otra partícula eléctricamente neutra. Efectivamente, los aceleradores de partículas actúan aprovechando la carga de estas últimas: se puede actuar sobre las partículas cargadas con la fuerza de atracción electrostática o con la fuerza que se genera haciéndolas moverse dentro de campos electromagnéticos de intensidad variable. Para conseguir que partículas neutras alcancen gran velocidad (y, por lo tanto, energía) se emplean reacciones, en las cuales, partículas cargadas y fuertemente aceleradas colisionan con las neutras, acelerándolas a su vez.



De arriba a abajo, las principales partículas aceleradas artificialmente: el electrón, el protón, el deutrón (núcleo de hidrógeno pesado o deuterio), la partícula alfa (núcleo de helio) y otras partículas, núcleos de elementos más pesados que el helio. Abajo, el electrón, el componente más ligero del átomo, fácil de separar del átomo y de acelerar gracias a su pequeña masa.

ACELERADOR LINEAL



El acelerador lineal es resultado del perfeccionamiento del acelerador electrostático. Este último, empleado en los primeros años del presente siglo, utilizaba una fuente de alta tensión. Este sistema no puede suministrar más de unos millones de voltios; con el acelerador lineal se puede suministrar una aceleración de un millón de voltios, en sucesivas veces, sumando las tensiones y las aceleraciones dadas a la partícula, que por ello puede alcanzar energías de millones, e incluso miles de millones, de electrón-voltios.
A la izquierda y abajo: el principio de los aceleradores de inducción. En el ciclotrón, la partícula cargada se emite desde el centro de la máquina y el paso entre los dos semicírculos cargados adecuadamente la acelera cada media vuelta.
El campo magnético la obliga a seguir una trayectoria circular, pero el aumento de energía y, por lo tanto, de velocidad hace que la órbita siga abriéndose según una espiral: cuando ha alcanzado el tamaño máximo del instrumento, sale de la zona de influencia del campo magnético y corre hacia el exterior siguiendo una órbita rectilínea tangencial. Abajo se representa un esquema de las máquinas llamadas "síncronas". En dichas máquinas el campo magnético se intensifica durante la carrera de la partícula, que se ve obligada a quedarse dentro de una órbita de amplitud constante.

electrón
mesón
núcleo
protón
quark

CICLOTRON

polo del imán
campo magnético
haz extraído
trayectoria de las partículas
polo del imán

polo del imán
campo magnético
rosca
polo del imán

SINCROCICLOTRON

inyector
trayectoria
imanes de reflexión
tubo

En el esquema superior se recoge la estructura de un gran acelerador del tipo "sincrotrón". Su principio de funcionamiento es prácticamente el mismo que se ha descrito en el caso del electrosincrotrón. Sin embargo, para alcanzar energías muy elevadas haría falta disponer de un imán de enormes dimensiones, con un diámetro de centenares de metros o kilómetros, lo que sería imposible de realizar. Por lo tanto, el campo magnético con líneas de fuerza verticales que hace falta para mover según una trayectoria circular las partículas cargadas, se crea con un gran número de imanes más pequeños repartidos a lo largo de la trayectoria de la partícula. Arriba, a la izquierda, el cilindro representa el "inyector", es decir, la fuente primaria que introduce partículas en el acelerador.

El avance en la construcción de los aceleradores ha permitido acelerar partículas cada vez más pequeñas y ligadas a la estructura íntima del núcleo atómico. Las primeras máquinas, construidas a principios de siglo, podían acelerar (y sólo a bajas energías) únicamente electrones o protones. En algunos casos se aceleraba también el núcleo entero del átomo. Durante mucho tiempo los aceleradores sirvieron para estudiar las reacciones nucleares de baja energía, o sea, energías en las cuales apenas se rompe el enlace entre protones y neutrones en el núcleo. Ya se sabía que harían falta mayores energías para investigar fenómenos bastante más íntimos de la estructura del neutrón y protón (que en conjunto se llaman *nucleones)*. Dado que, para esta finalidad, no se sabía aún construir máquinas con la potencia suficiente, se trataba de aprovechar los rayos cósmicos, entre los cuales se hallan partículas con la suficiente energía. En los años cincuenta y sesenta el avance en la construcción de los aceleradores ha permitido eliminar la necesidad de los rayos cósmicos; actualmente, con las partículas aceleradas de forma artificial, es posible no sólo romper el núcleo sino también empezar a estudiar la estructura interna de los nucleones. Está también cercana la posibilidad de aislar sus componentes íntimos, los *quarks*.

aumenta también su velocidad. Como las partículas emplean el mismo tiempo en dar cada vuelta, es suficiente una oscilación estable de las cargas eléctricas en las dos D para suministrar, en el momento oportuno, el empuje necesario a las partículas.

Según la *teoría de la relatividad*, la masa de un cuerpo está en función de su velocidad. Cuanto mayor es ésta tanto mayor es el aumento de su masa, si bien este fenómeno sólo puede medirse cuando se alcanza una velocidad cercana a la de la luz (300.000 km/s). Cuando los aceleradores más perfeccionados lograron aproximar la velocidad de las partículas a la de la luz, el aumento de la masa de las partículas mismas produjo una pequeña reducción de su velocidad, de manera que llegaban con un poco de retraso al intervalo entre las D. Se recurrió, en consecuencia, a un *sincrociclotrón*, que ralentiza gradualmente el ritmo de los impulsos eléctricos para "sincronizarse" con el paso de las partículas, dando a estas últimas la posibilidad de ganar una energía ulterior.

Avances posteriores han llevado al desarrollo del *sincrotrón*, cuya pista está constituida por una cámara circular en forma de rosca. De la misma manera que en un acelerador lineal se generan fuerzas eléctricas que aceleran a las partículas a lo largo de la pista, en un acelerador circular las partículas pueden adquirir una velocidad siempre mayor en cada revolución, sin tener que aumentar el diámetro de su órbita. Tal y como se usan en un ciclotrón, los campos magnéticos se emplean para curvar la trayectoria de las partículas, de manera que se adapten a la forma de la pista. La ventaja del sincrotrón respecto al ciclotrón es que ya no hace falta que el imán cubra el dispositivo entero, ya que en realidad los imanes tienen sólo que rodear la pista, que de esta manera puede tener un diámetro de algunos kilómetros. Los sincrotrones pueden acelerar las partículas hasta velocidades aproximadamente de 299.790 km por segundo (1.079 millones de km/h) equivalente al 99,9% de la velocidad de la luz. Una variante más reciente es el *acelerador de haz convergente*, es decir, un sincrotrón que hace girar dos haces de partículas en direcciones opuestas a lo largo de la misma pista. Las trayectorias de estos haces en rotación se cruzan en puntos determinados, duplicando así la energía de las colisiones.

Los avances de la física nuclear en la actualidad están ligados estrechamente a la construcción de aceleradores cada vez mayores y más perfeccionados. Hace cincuenta años los científicos pensaban que el átomo estaba formado por sólo tres tipos de partículas: electrones, protones y neutrones. Hoy en día, sobre todo gracias a los aceleradores, se han descubierto más de 100 nuevas partículas, de origen desconocido y propiedades sorprendentes. Y los

fuente de las partículas

acelerador inyector

imanes de desviación

Las partículas que corren en el ISR, que podría definirse como la "zona de intercambios", se obtienen de la fuente. Después, un acelerador lineal lanza las partículas (como los protones) obtenidas de la escisión de los átomos de hidrógeno.

Desde el acelerador lineal las partículas se introducen en un sincrotrón que las lleva a energías de muchos miles de millones de electrón-voltios. De aquí se extraen para ser enviadas al área del ISR. Efectivamente, aquí las partículas se producen por "paquetes" que se envían alternativamente a derecha y a izquierda.





En EE.UU., Europa Occidental y Unión Soviética se encuentran los mayores aceleradores de partículas del mundo. En Europa, el grupo de investigación del CERN (Centro Europeo de Investigaciones Nucleares) posee una de las máquinas más potentes de las existentes en la actualidad, desarrollada según proyectos de sus propios investigadores. En la imagen, el sincrociclotrón de 600 MeV del CERN.

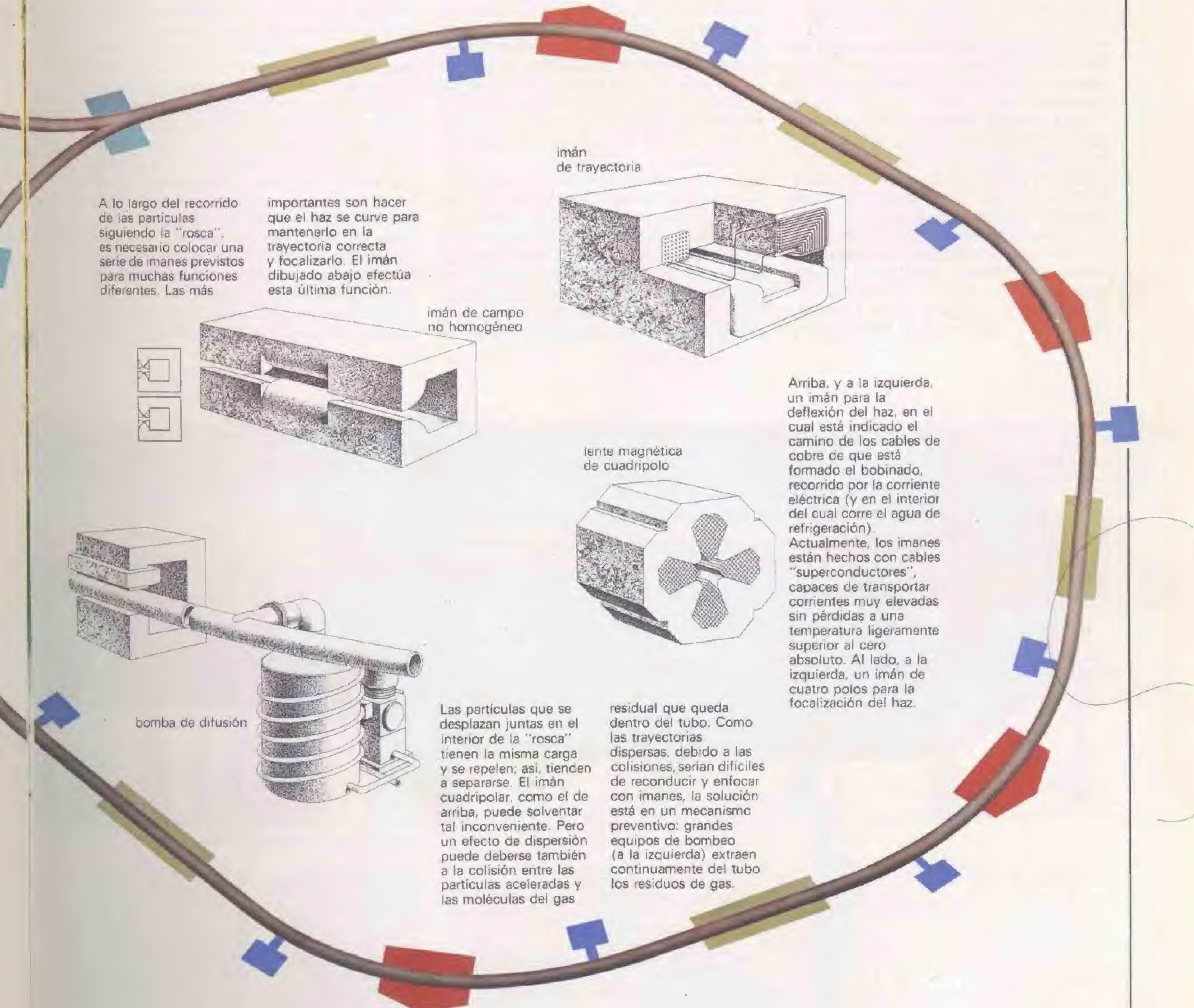
Las partículas que se mueven en un acelerador recorren una trayectoria dentro de un espacio construido con un largo tubo de plástico en el cual se ha hecho un alto vacío. Como este largo tubo está doblado en círculo (o tiene forma de polígono con los vértices enlazados por arcos de circunferencia), se le ha dado el nombre de "rosca". Su sección mide algunos decímetros, su longitud es de decenas de kilómetros y está montado en su posición con errores del orden de fracciones de milímetro.

aceleradores se han empleado no sólo para escindir los núcleos sino también las partículas mismas.

Un aspecto que confunde en estas últimas colisiones es que las partículas no se dividen después, sino que se transforman de una en otra, planteando una serie de cuestiones de importancia fundamental para los físicos: ¿son las partículas simplemente formas diferentes que toma la energía cuando se transforma en materia?; ¿existe alguna relación fundamental entre las fuerzas nucleares, el electromagnetismo y la gravedad?; ¿materia y energía son aspectos diferentes de una misma cosa?

Los científicos esperan que, en el futuro, aceleradores aún mayores que los actuales podrán dar una respuesta a estas preguntas, pero el dinero y la tecnología necesarios para construir tales máquinas son increíbles. El primer ciclotrón de Lawrence cabía cómodamente en el mismo espacio que una mesa de cocina; el sincrotrón de la Cornell University tiene, en cambio, una circunferencia de casi un kilómetro y los científicos emplean bicicletas para desplazarse de un lugar a otro. La circunferencia del gigantesco acelerador proyectado para el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN) en Suiza, que estará terminado aproximadamente en 1987, mide treinta kilómetros; muchas naciones contribuirán a costear los gastos y la tecnología requeridos. Aun no teniendo perspectivas de resultados económicos y tecnológicos concretos, se trata de uno de los proyectos más ambiciosos del siglo XX; esto supone que las sociedades de los países desarrollados están dispuestas a emplear grandes cantidades de sus propios recursos con tal de hallar respuesta a la pregunta que desde hace siglos se viene haciendo la humanidad: "¿De qué está constituida la materia?"

Véase **Acelerador lineal; Antimateria; Atomo; Cámara de burbujas; Electromagnetismo; Física de las partículas subatómicas; Neutrino; Núcleo atómico**

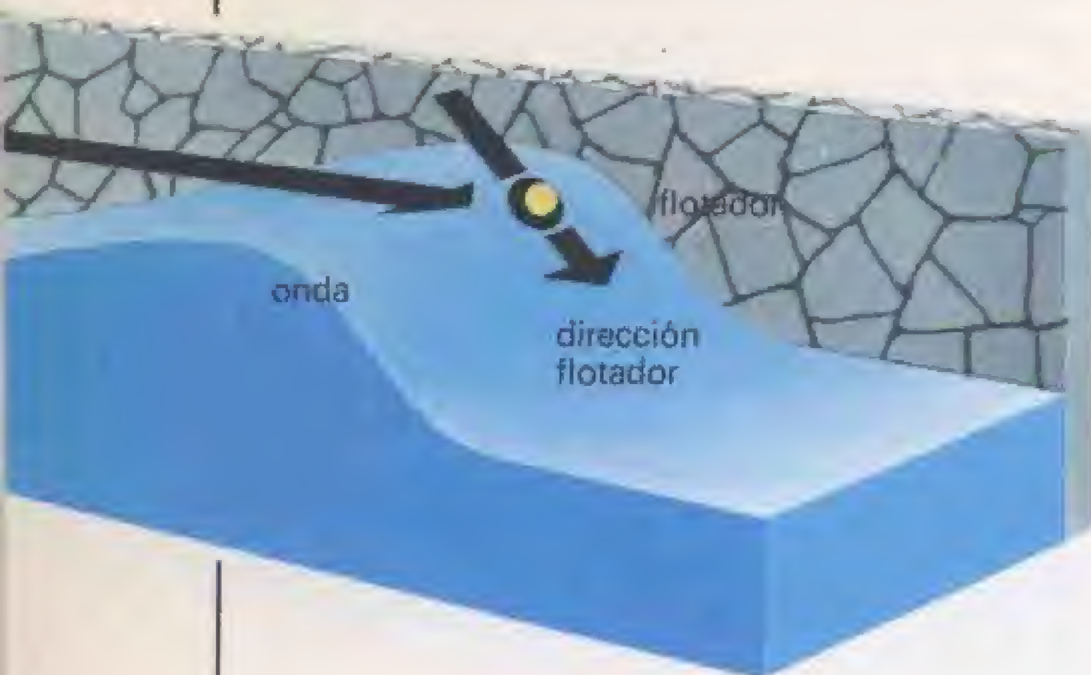


A lo largo del recorrido de las partículas siguiendo la "rosca", es necesario colocar una serie de imanes previstos para muchas funciones diferentes. Las más importantes son hacer que el haz se curve para mantenerlo en la trayectoria correcta y focalizarlo. El imán dibujado abajo efectúa esta última función.

Arriba, y a la izquierda, un imán para la deflexión del haz, en el cual está indicado el camino de los cables de cobre de que está formado el bobinado, recorrido por la corriente eléctrica (y en el interior del cual corre el agua de refrigeración). Actualmente, los imanes están hechos con cables "superconductores", capaces de transportar corrientes muy elevadas sin pérdidas a una temperatura ligeramente superior al cero absoluto. Al lado, a la izquierda, un imán de cuatro polos para la focalización del haz.

Las partículas que se desplazan juntas en el interior de la "rosca" tienen la misma carga y se repelen; así, tienden a separarse. El imán cuadripolar, como el de arriba, puede solventar tal inconveniente. Pero un efecto de dispersión puede deberse también a la colisión entre las partículas aceleradas y las moléculas del gas residual que queda dentro del tubo. Como las trayectorias dispersas, debido a las colisiones, serían difíciles de reconducir y enfocar con imanes, la solución está en un mecanismo preventivo: grandes equipos de bombeo (a la izquierda) extraen continuamente del tubo los residuos de gas.

Acelerador lineal



En el átomo, elemento básico con el que está construida la materia, se pueden distinguir dos partes fundamentales: los electrones y el núcleo.

Los *electrones*, partículas ligeras y con carga eléctrica negativa, giran alrededor del *núcleo*, pequeño y macizo, que está constituido por *protones* cargados positivamente y *neutrones* sin carga eléctrica alguna. Para separar los electrones del núcleo se pueden emplear temperaturas elevadas, reacciones químicas muy energéticas y campos eléctricos o magnéticos de gran intensidad.

Sin embargo, las fuerzas que mantienen unidas las partículas que conforman el núcleo son mucho mayores —un millón de veces mayores— que las que retienen a los electrones en su órbita alrededor del mismo. El *acelerador lineal*, o *linac*, que es un tipo de acelerador de partículas, es uno de los medios de los que se dispone actualmente para estudiar el núcleo del átomo. Lo que la máquina hace es tomar pequeñas partículas del átomo —núcleos enteros, protones o electrones—, acelerarlas hasta una gran velocidad y lanzarlas contra los núcleos.

Partes del acelerador El acelerador lineal se puede dividir en dos partes: la *fuente de las partículas* que hay que acelerar y el *dispositivo de aceleración*. Los demás tipos de aceleradores existentes tienen estos mismos dispositivos, pero también necesitan otros elementos adicionales que sirven para mantener las partículas en una trayectoria curva. Además, es necesario tomar precauciones especiales para evitar que éstas se dispersen. Después de que las partículas han sido aceleradas hasta la velocidad deseada, el acelerador las hace salir por una "ventana" formada por una fina membrana de metal u otro material y las deja que impacten, tras un breve recorrido, con un "blanco". Las partículas aceleradas colisionarán con los núcleos de los átomos y reaccionarán con ellos. En algunos casos el blanco puede hallarse en el interior; además del blanco, a su alrededor se encuentran los aparatos que sirven para analizar las partículas que se han producido a raíz de la reacción. El blanco y los instrumentos no forman parte del acelerador, sino que constituyen el objetivo para el que es utilizado el propio acelerador.

La fuente La fuente del acelerador sirve para producir las partículas cargadas de electricidad que serán aceleradas. Estas partículas son núcleos, protones o electrones. Si el átomo es de hidrógeno, la partícula acelerada, su núcleo, será un protón. Si el átomo es de helio, la partícula acelerada será una partícula alfa, idéntica a las que son emitidas por algunos núcleos radiactivos. Pero es posible acelerar también partículas más pesadas, como núcleos de litio, berilio, boro, etcétera.

El caso más sencillo es acelerar un protón. En este caso la fuente es alimentada por una bombona de hidrógeno, y el protón entra en una pequeña cámara a través de un orificio. Mientras se difunde en la cámara, que está sometida continuamente a vacío por una bomba, sufre el bombardeo de electrones acelerados por un campo eléctrico constante. Los electrones chocan con el átomo de hidrógeno y le extraen su electrón: queda el protón (el núcleo) que se encuentra en movimiento: se le deja ir hacia la parte central del acelerador, donde se le suministrará energía suficiente hasta llevarlo a una velocidad cercana a la de la luz.

aisladores
cabeza del acelerador de inyección
anillos anti efecto-cámara
tubo acelerador
cinta generadora de tensión electrostática
dispositivo para insuflar átomos
bombona de gas
V
acelerador de electrones para inyectar los átomos
ventana de paso al acelerador lineal

Hay muchos tipos de máquinas que permiten acelerar partículas subatómicas cargadas. Sin embargo, es posible clasificarlas en dos categorías principales. En la primera, durante la fase de aceleración se obliga a las partículas a recorrer una trayectoria circular (o en espiral); en la segunda, el camino es una línea recta. Las máquinas del primer tipo permiten alcanzar energías muy elevadas, de hasta centenares de miles de millones de electrón-voltios, pero tienen el defecto de poder acelerar sólo partículas con la misma carga, por ejemplo sólo

El acelerador Para alcanzar la velocidad deseada, el protón entra en el acelerador propiamente dicho, que está constituido por un gran tubo de acero muy largo (el de mayores dimensiones del mundo mide 3 km de longitud, es el LINAC de la Universidad de Stanford). Dentro de ese enorme tubo, que se consigue mantener siempre al vacío gracias la acción de varias bombas muy potentes, se encuentran otros muchos tubos de diámetro menor, exactamente alineados con el eje del tubo mayor, aislados eléctricamente los unos de los otros y enlazados a un sistema electrónico especial que los conecta a las tensiones oportunas en el momento adecuado.

Para acelerar un protón (o cualquier otra partícula cargada positivamente) se hace de manera que, cuando pasa por el primer tubo —al que ha llegado desde la fuente a baja velocidad— esa parte del tubo pequeño tenga carga positiva: el protón, que también tiene carga positiva, tratará de alejarse aumentando su velocidad. Pero, mientras tanto, se hace de forma que el siguiente sector de tubo se vuelva negativo, atrayendo de esta manera al protón que caerá hacia su interior. Pero cuando el protón entra en este segundo sector, este último se vuelve también positivo, de modo que trata de empujarlo hacia fuera, mientras que ahora es el tercero el que se vuelve negativo, atrayéndolo. Este proceso se repite en cada par de tubos aceleradores, de forma que al pasar de uno a otro su velocidad aumenta; este es el motivo por el que los tubos son más largos conforme están más alejados de la fuente. El protón se desplaza cada vez más rápido, y aunque el ritmo con el que alternan su carga los tubos es siempre el mismo, el protón recorre cada vez más espacio en el mismo tiempo.

La tensión se suministra a los electrodos en forma de tubo haciendo que sean recorridos por una señal eléctrica de alta frecuencia. Entonces el protón se desplaza como lo hace un surfista que es empujado por una ola marina, y que tiene que procurar hallarse siempre en el flanco descendente que se dirige a la playa.

Las posibilidades de un acelerador lineal La ventaja principal del acelerador lineal es la de poder acelerar partículas bastante diferentes. Basta cambiar ligeramente la alimentación de los electrodos en forma de tubo para poder acelerar tanto protones (núcleos de hidrógeno) como núcleos de átomos más pesados, como el flúor.

Esto no es posible con otros aceleradores, por ejemplo con los sincrotrones; efectivamente, estos consumen mucha energía en la alimentación de los grandes imanes que son necesarios para que las partículas se muevan en una trayectoria circular. Además, al seguir este tipo de trayectoria, irradian parte de la energía que con gran dificultad les ha sido suministrada (radiación de sincrotón). En contrapartida, los sincrotrones pueden acelerar las partículas hasta velocidades prácticamente iguales a la de la luz.

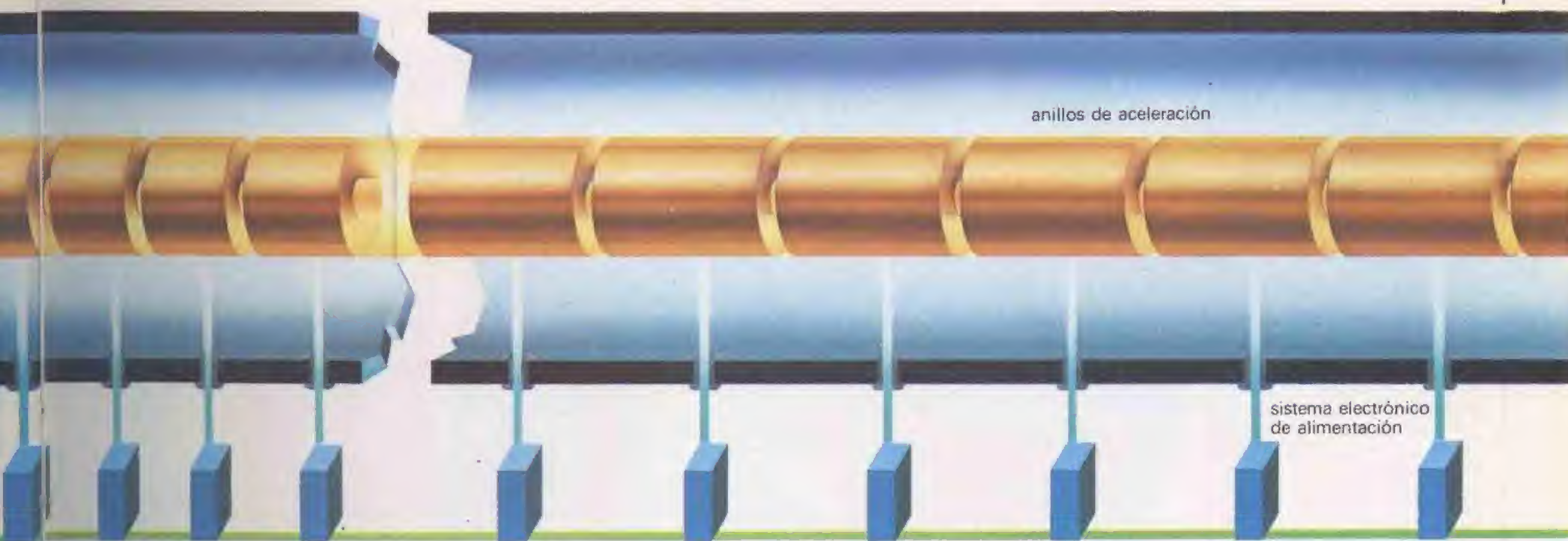
Otra ventaja del acelerador lineal es que los campos eléctricos debidos a los dos electrodos en forma de tubo, que sirven para acelerar las partículas, también las "focalizan", alineándolas, de manera que no se dispersen, y manteniendo siempre sus trayectorias paralelas al eje del instrumento.

Por último, con pequeñas modificaciones, es relativamente fácil obtener flujos de partículas que sean notablemente intensos, provocando así reacciones poco previsibles.

Además de la aportación en el estudio de los núcleos atómicos, los aceleradores han sido los instrumentos más importantes para la "creación" de los elementos transuránicos más altos, obtenidos bombardeando núcleos pesados con otros núcleos también pesados y acelerados.

Es posible realizar variantes de aceleradores lineales capaces de producir intensos haces de átomos a los cuales les ha sido quitado un solo electrón: con estos átomos ionizados una sola vez (en algunos casos raros también dos o tres veces) se pueden producir reacciones químicas bombardeando moléculas y átomos que de otra forma no habrían reaccionado.

Véase **Acelerador de partículas**



protones o sólo electrones. En cambio, las máquinas de la categoría lineal permiten acelerar partículas de cualquier carga. El principio en el que se basan estas máquinas (dibujo superior) es, en realidad, el del *surf*. Un flotador ligero se desplaza empujado por una ola que se propaga en el interior de un canal. Una partícula cargada se acelera por medio de un campo eléctrico que presenta siempre delante de ella la carga de sentido opuesto y que, por lo tanto, la atrae. El acelerador lineal está constituido por dos partes: a la izquierda el *inyector*, que es la fuente de partículas, que las envía a un dispositivo que a su vez las acelera a baja energía, lo que es necesario para que puedan entrar en el *sistema principal de aceleración*. El inyector comunica con el cuerpo del acelerador lineal por medio de un tubo delgado por el que pasan las partículas. Estas son enviadas al eje de una serie de anillos de longitud variable. Cada anillo está aislado de los demás y se sujeta sobre un soporte de material conductor. Cada uno independientemente está conectado a un sistema electrónico de alimentación. Este suministra señales de tensión bien sincronizadas que producen, cuando una partícula cruza el espacio entre dos anillos, la presencia de una tensión entre estos que acelera cada vez más la partícula. La longitud de los anillos de aceleración crece armónicamente, pero, hacia el final, la longitud es menor de lo que cabría esperar. Esto es debido a que la partícula se acerca a la velocidad de la luz y el aumento de masa que se produce reduce la velocidad.

Acero

El acero —el metal más utilizado en nuestro siglo y el que en mayor grado ha posibilitado el desarrollo actual—, desde un punto de vista químico, es una aleación o mezcla de dos elementos, hierro y carbono; éste último no supera el 1,7% de la composición de la mezcla, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. El hecho de que estos dos elementos abunden en la Naturaleza ha posibilitado su producción en cantidades industriales.

Aunque el hierro es su componente predominante, el acero se distingue del hierro común o *fundición* por su templabilidad, esto es, calentado un acero a una cierta temperatura, 600 °C, y enfriado rápidamente, por ejemplo en agua, las características del metal cambian, volviéndose en este caso más duro y frágil. La fundición sometida a un procedimiento análogo —calentamientos y enfriamientos rápidos— no ve modificada su constitución y por lo tanto sus propiedades internas seguirán siendo las mismas.

Por si todo lo anterior fuera poco, la adición de otros elementos químicos, aunque sea en pequeñas cantidades, tales como manganeso, cromo, níquel, vanadio y titanio, hace que el acero adquiera ciertas propiedades específicas, como ductilidad, elasticidad, fragilidad y dureza. Por todas estas posibilidades, los productos derivados del acero tienen numerosas aplicaciones, desde construcciones de edificios, puentes y vías férreas a pequeños objetos cotidianos, como cuchillas de afeitar, ollas y cazuelas, cubiertos, o en industrias punta actuales, como la nuclear o la aeroespacial.

Historia Si bien hacia los años 2300 a 2200 antes de nuestra Era los egipcios utilizaron métodos rudimentarios para la fabricación del hierro, las características conferidas por la templabilidad no nos consta que fueran conocidas ampliamente hasta la Edad Media; y hasta el año 1740 no se produjo lo que hoy denominamos acero. Fue Huntsman el que desarrolló un procedimiento para fundir hierro forjado con carbono, obteniendo de esta forma acero, aunque en pequeñas cantidades. En 1856 sir Henry Bessemer hizo posible la fabricación de acero en grandes cantidades, pero su procedimiento ha caído en desuso, ya que sólo podía utilizar hierro que contuviese fósforo y azufre en muy pequeñas proporciones.

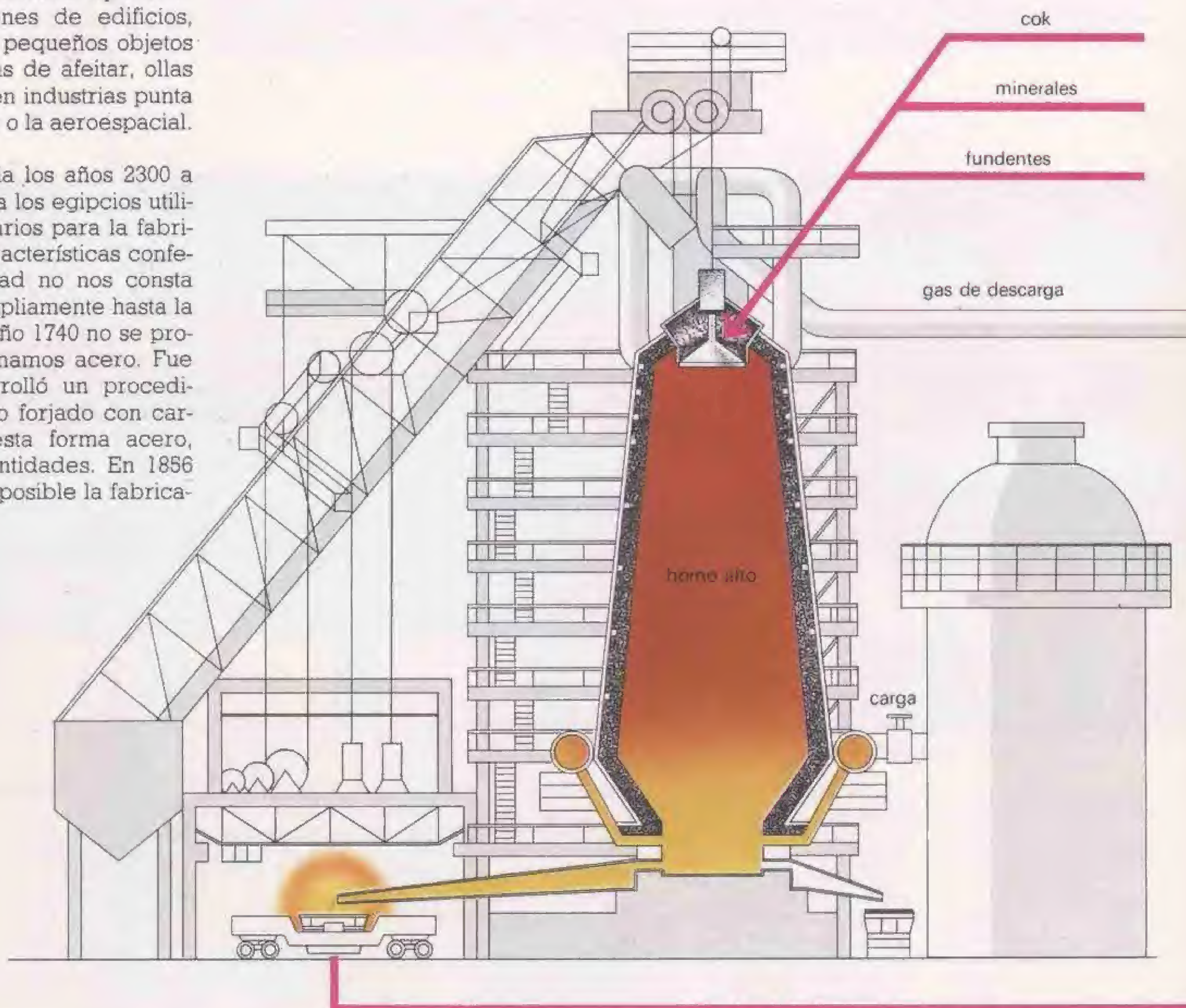
En 1857 sir William Siemens ideó otro procedimiento de fabricación industrial del acero, que es el que ha perdurado hasta la actualidad.

La necesidad de disponer de aceros de gran calidad espoleó las investigaciones, y así, en 1890, Hérault construyó el primer horno eléctrico. Finalmente, hacia mediados del presente siglo se introdujeron una serie de procedimientos de fabricación con ayuda del oxígeno que han conocido una difusión extraordinaria hasta nuestros días.

Proceso de fabricación Hoy en día existen dos procesos fundamentales para la obtención de acero, ya que un tercero, el Martin-Siemens está cayendo en desuso debido a su lentitud (8/12 horas por colada) y a su coste, pues utiliza *fuel-oil* de una forma intensiva. De todos modos, lo citaremos debido a la gran importancia que ha tenido.

Horno Martin-Siemens Se trata de un horno de tipo horizontal, de solera abierta, rectangular. Se carga con arrabio, producto que se obtiene del horno alto a través de un proceso de combustión-reducción de los minerales de hierro (principalmente óxidos y carbonatos), carbón y caliza. El arrabio obtenido de esta manera contiene hasta un 4% de carbono, más ciertos elementos químicos considerados impurezas, algunos de los cuales, como el fósforo o el azufre, son altamente perjudiciales para el acero, y otros, como el silicio o el manganeso, no son deseables en las cantidades contenidas. Junto al arrabio se añaden materiales ricos en oxígeno (como óxidos de hierro) e incluso chatarra, además de materiales fundentes como la caliza, que facilita la formación de escorias, regulando de esa forma el contenido de azufre de la carga. En estos hornos se producían aceros comunes o poco aleados.

Horno eléctrico Para obtener aceros especiales, es decir muy aleados, el método utilizado es el del horno eléctrico, aunque esta instalación también es utilizada para producir aceros comunes. La carga o materia prima de estos hornos es la chatarra, desperdicios de acero, previamente seleccionada de acuerdo con el tipo de acero a producir. También se pueden incluir en la carga pequeñas cantidades de lingotes de arrabio. La fusión de la carga se consigue mediante el salto del arco voltaico producido por el paso de la corriente



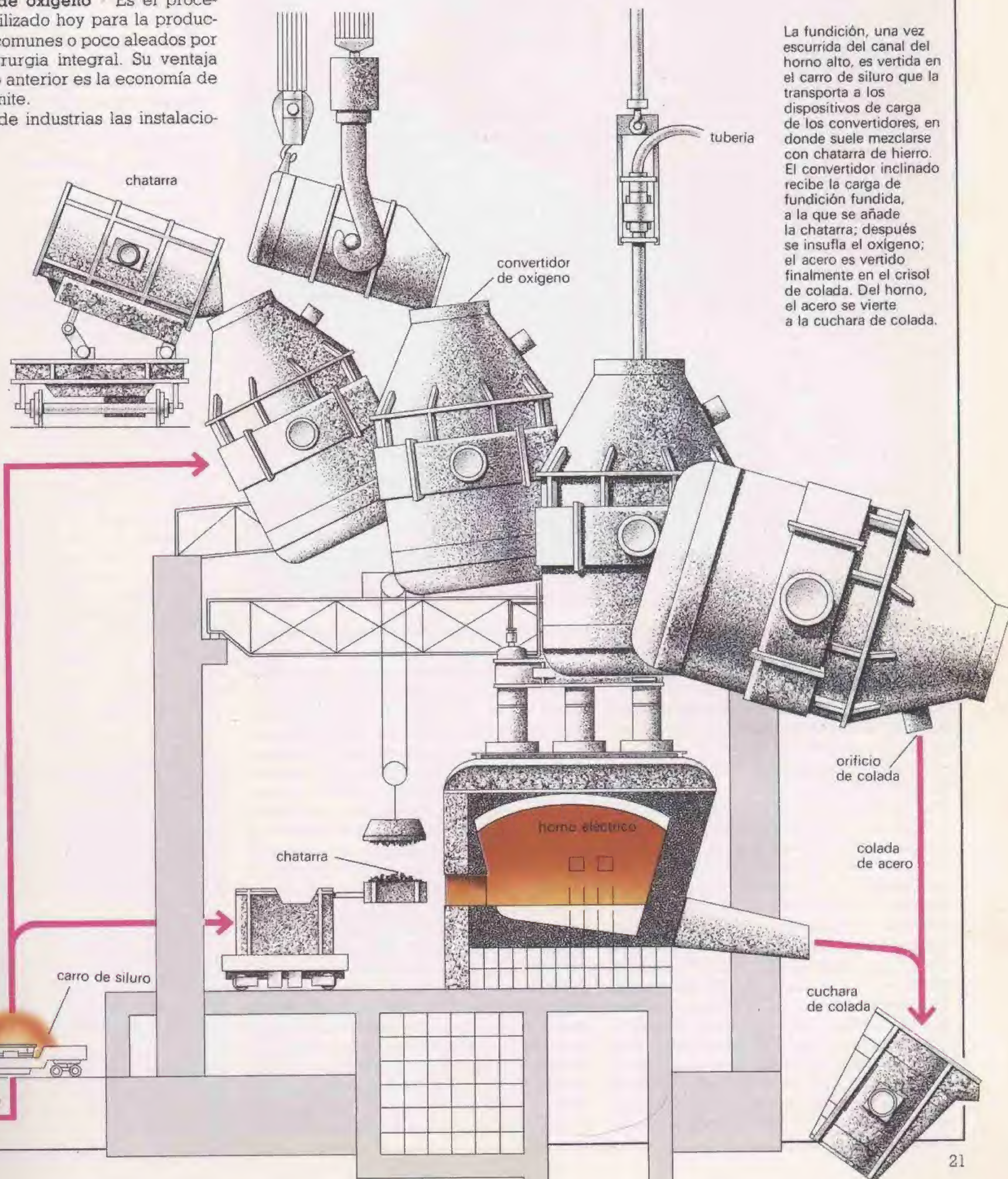
El acero es una aleación de bajo contenido en carbono (aproximadamente 1,1 %). La materia prima puede ser acero reciclado (chatarra) o fundición, aleación hierro-carbono producida por el horno alto (derecha). Este se puede considerar un reactor químico en el que el carbono del carbón que lo alimenta quita oxígeno al hierro: la reacción produce una aleación de hierro con un alto contenido de carbono, la fundición. El acero se obtiene reduciendo el porcentaje de carbono de la fundición.

eléctrica entre los electrodos y la chatarra. El arco voltaico genera un intenso calor que funde de una forma rápida la carga. Cuando la chatarra se ha convertido en líquido, se ha fundido, se añaden materiales fundentes así como ferroaleaciones a fin de conseguir el tipo de acero deseado. Una innovación reciente, cuando la chatarra se ha fundido y antes de añadir las ferroaleaciones, consiste en emplear lanzas de oxígeno a fin de acelerar el proceso de eliminación de impurezas; de esa forma se acorta el ciclo de producción.

Convertidor de oxígeno · Es el procedimiento más utilizado hoy para la producción de aceros comunes o poco aleados por la llamada siderurgia integral. Su ventaja sobre el método anterior es la economía de escala que permite.

En este tipo de industrias las instalaciones básicas o de cabecera son el horno alto y el convertidor de oxígeno. Como ya se ha indicado, el horno alto produce arrabio, que constituye la materia prima del convertidor. Este consiste en un recipiente de grandes dimensiones, capaz para contener 500 toneladas, revestido con ladrillos refractarios (resistentes al calor). El proceso de producción de acero consiste en verter dentro del convertidor el arrabio líquido producido en el horno alto, introduciéndose seguidamente una lanza o caña en el convertidor, refrigerada por agua, hasta tocar la superficie del arrabio, soplándose en ese momento oxígeno. La conversión del arrabio en acero consiste en rebajar el contenido de carbono del 4% al 1%, e incluso porcentajes menores, y eliminar una serie de impurezas, tales como silicio, fósforo, azufre, etc. Como estas impurezas arden a temperaturas inferiores a las del hierro, el proceso requiere alcanzar temperaturas alrededor de los 1.600 °C.

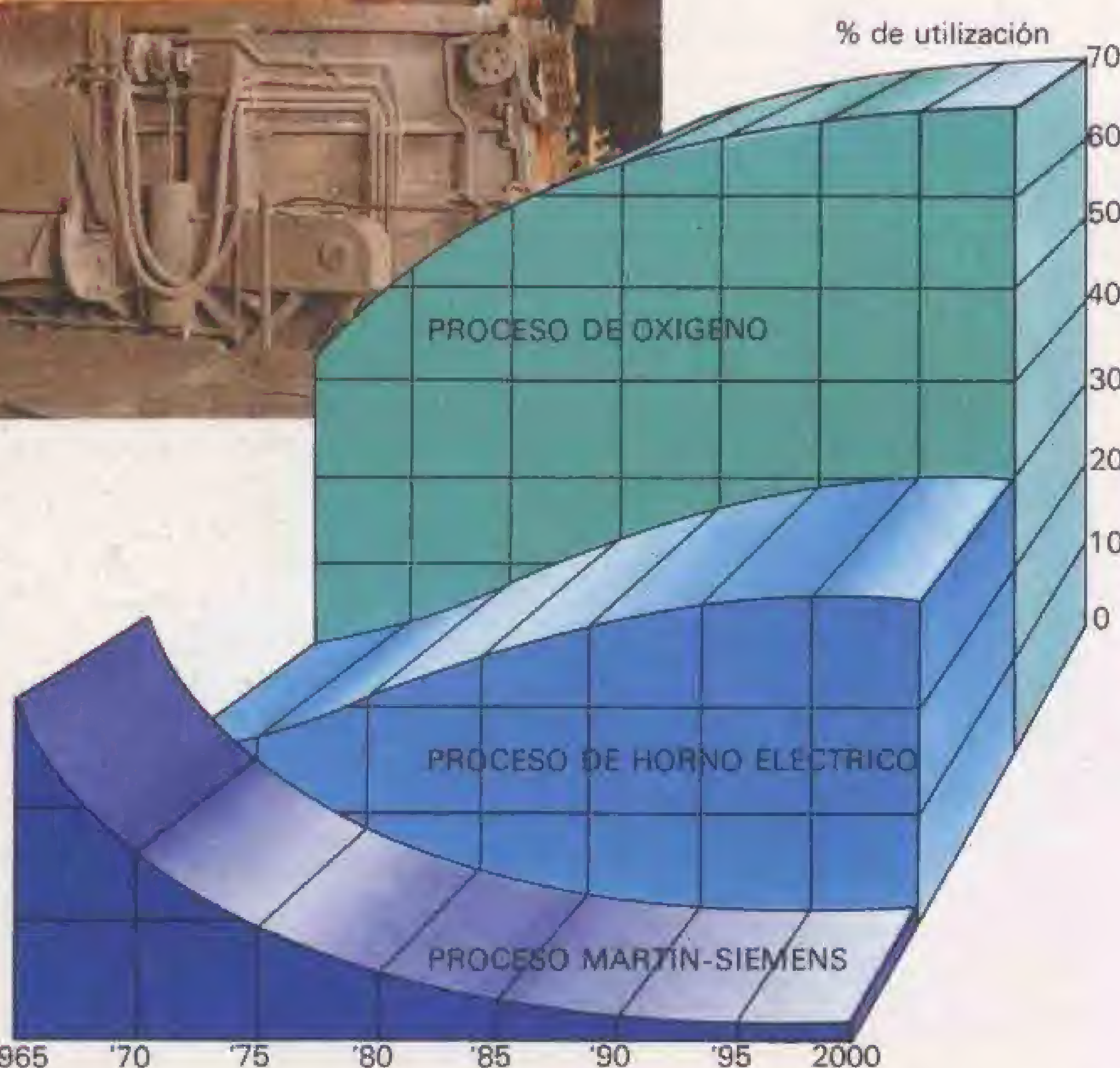
Como la utilización del oxígeno produce una reacción fuertemente exotérmica, para no rebasar temperaturas en las que arde



La fundición, una vez escurrida del canal del horno alto, es vertida en el carro de siluro que la transporta a los dispositivos de carga de los convertidores, en donde suele mezclarse con chatarra de hierro. El convertidor inclinado recibe la carga de fundición fundida, a la que se añade la chatarra; después se insufla el oxígeno; el acero es vertido finalmente en el crisol de colada. Del horno, el acero se vierte a la cuchara de colada.



A la izquierda, horno de arco con el techo abierto. En la página siguiente, un tren de laminación en caliente.



Evolución de las técnicas de refinado del acero. Al final de los años 60, el proceso de oxígeno llevó a la fase final de su declive al proceso Martín-Siemens. Esta evolución ha favorecido el desarrollo del proceso de horno eléctrico de arco que, para el año 2000, constituirá el único compañero del convertidor de oxígeno.

ría el hierro, se suele añadir al convertidor pequeñas cantidades de chatarra, a fin de mantener estable la temperatura.

Estructura del acero El acero es una mezcla de hierro y carbono y sus propiedades se explican por las leyes de las aleaciones. Para mejor comprender estas propiedades se ha de explicar primero la estructura atómica de los metales puros.

Aunque a simple vista no se pueda detectar, los metales constituyen una estructura cristalina, es decir, sus átomos están distribuidos de una forma regular, formando figuras geométricas tales como cubos, romboedros o prismas. El modelo regular de distribución espacial —distinto para cada metal— se llama *retículo*. Los átomos del hierro puro, a temperatura ambiente, están dispuestos en retículos cúbicos con átomos en cada vértice del cubo y uno en el centro. El hierro que posee esta disposición atómica se llama *ferrita*. Las diferentes propiedades del acero se derivan de las diversas mutaciones o cambios en la estructura cristalina del hierro cuando se combina con otros elementos, como el carbono. Normalmente el 95% del hierro está en aleación con el carbono; el 5% restante forma una combinación constituida por tres átomos de hierro y uno de carbono, denominada *cementita*. Por lo general, los retículos de cementita son demasiado grandes para penetrar en los espacios de los retículos de hierro (ferrita), por lo que, cuando el acero fundido es enfriado lentamente, los cristales de cementita y ferrita forman planos paralelos. El resultado de este proceso es la *perlita*, así llamada a causa de su aspecto perlado vista al microscopio. Cuando el acero es templado, es decir, sumergido bruscamente en agua tras haber sido calentado a una temperatura de unos 600 °C, los cristales de cementita no tienen tiempo suficiente para colocarse en una disposición ordenada. Con ello se consigue que numerosas partículas de cementita extremadamente diminutas se introduzcan dentro de los retículos de ferrita, deformando y dilatando en cierto sentido el retículo y aumentando la rigidez de los cristales, formando lo que se denomina la *martensita*. De esta forma el acero se vuelve duro pero frágil. A fin de eliminar la fragilidad del acero, así como tensiones internas que se hayan producido en el templado, existen procesos de *revenido* y *recocido*, consistentes en calentamientos (alcanzando temperaturas menores que en el templado) y enfriamientos suaves, con los que el acero pierde algo de dureza.

Modernamente, los tratamientos térmicos se realizan en *hornos de tratamientos*, automatizados, donde además de la temperatura se controla la presión y la composición del aire (hornos de atmósfera controlada).

Clases de acero Las clases de acero resultantes de la aplicación de los distintos procesos de producción, composiciones químicas y tratamientos pueden ser infinitas, de tal forma que, hoy en día, el acero puede fabricarse a la medida del cliente. Para evitar la proliferación desmesurada de clases de acero, existen normas a nivel mundial que tipifican ciertos aceros.

En el argot popular son conocidos una serie de aceros, entre los que destacamos:

- *Acero de construcción*. Es un acero de bajo contenido de carbono (0,1% a 0,25%), que se emplea generalmente en la construcción de viviendas, obras públicas, etc. Es un acero resistente a la compresión y a la tracción, que tiene una alta tenacidad.
- *Acero de rodamiento*. Es un acero de







A la derecha, el convertidor de oxígeno en las tres fases principales de su funcionamiento sobre el contenido constituido por chatarra de hierro y fundición líquida, se insufla oxígeno a través de una tubería refrigerada por agua. Se quema el exceso de carbono y el fósforo, silicio y manganeso indeseables; la combustión proporciona calor capaz de mantener fundida la masa (arriba). En el centro, la oxidación está en una etapa avanzada. Al final, se verifica la retirada de la tubería de oxígeno: el convertidor está listo para la colada.

gran dureza y elevada resistencia al desgaste. Tiene un contenido de carbono del 1% y un 2% de cromo. Se emplea para la fabricación de mecanismos sujetos a desgaste por fricción.

• *Acero inoxidable*. Es un acero resistente a la corrosión causada por ciertos agentes químicos (ácidos). En su composición entran porcentajes relativamente altos precisamente de cromo y níquel, y algunas denominaciones hacen referencia a dichos porcentajes. Así, un acero inoxidable 18/8 significa que contiene un 18% de cromo y un 8% de níquel. Esta clase de acero tiene un gran campo de aplicaciones, desde utensilios de cocina hasta instalaciones industriales, en especial químicas.

• *Acero de herramientas*. También conocido como *acero rápido*, en su composición entran los metales tungsteno, vanadio, molibdeno y cobalto. Son aceros que poseen una gran resistencia al choque y a la abrasión y se emplean en la fabricación de herramientas de corte, cuchillas, etc.


S. A. Echevarría

Instalaciones y productos Ya se han comentado los tres procedimientos básicos de obtención de acero: hornos Martin-Siemens, convertidores de oxígeno y hornos eléctricos. Un resumen de las principales características de cada proceso sería el que aparece representado en el esquema de las dos páginas siguientes.

Una vez que el proceso de fabricación del acero ha llegado a su final, el líquido contenido en el horno o en el convertidor se vierte en una cuchara de colada que, desplazada mediante grúas, es llevada al foso de colada, donde el acero líquido se vierte en unos moldes hechos de material refractario denominados *lingoteras*. Una vez solidificado el acero, se obtiene el primer producto siderúrgico, conocido como *tocho* o *lingote* de acero.

Los lingotes de acero se almacenan en parques de tochos. De aquí son llevados a las instalaciones de desbaste, compuestas por hornos de calentamiento y trenes de desbaste. Los hornos de calentamiento tienen por misión calentar los tochos hasta una determinada temperatura (1.200 °C), apta para poder trabajarlos a través de trenes de desbaste. Esta operación de desbaste consiste en pasar los lingotes a través de enormes rodillos que aplastan y comprimen los mismos hasta darles la forma deseada. El producto obtenido por esta operación se denomina desbaste y las formas más conocidas son los *planos*, las *bobinas* y la *palanquilla* (barra cuya sección es cuadrada).

En estos últimos años se está imponiendo un nuevo proceso de fabricación de palanquilla a través de la *colada continua*, eliminando el tren de desbaste y consiguiendo unas economías importantes. El acero líquido procedente de un horno eléctrico, por ejemplo, es vertido directamente en una artesa a través de la cual se va colando de una forma continua el acero, obteniéndose directamente la palanquilla. De momento, este procedimiento sirve para aceros poco aleados, pues existen problemas en la formación del núcleo de la palanquilla, pero se han dado importantes pasos en su utilización, ya que abarata bastante la fabricación de palanquilla.

Los productos obtenidos se almacenan en parques de bobinas, de palanquilla, etc. De aquí pasan a las instalaciones de laminación comercial, compuestas básicamente por hornos de calentamiento y trenes de laminación, donde experimentan nuevas compresiones a través de los cilindros de los trenes comerciales, obteniéndose productos finales, dentro del proceso siderúrgico, destinados a la venta. Como productos típicos de esta fase están las bobinas revestidas de estaño para la producción de hojalata, o las que están galvanizadas, revestidas de zinc, destinadas a la producción de cubos, tuberías, cobertura de techos y paredes, etc. Otro producto característico son los perfiles de construcción, vigas de perfil T o I. De las palanquillas se obtienen *redondos* de distintas dimensiones o rollos de alambrón, de los que se fabrican toda clase de alambres.

Hay ciertas clases de acero que no se pueden laminar; debido a su gran resistencia romperían los cilindros de los trenes de laminación. Estas clases de acero se transforman utilizando instalaciones de forja. Existen dos sistemas de forjar: los martillos de forja, llamados también sistemas de caída libre, y las prensas de forjar. Con estos sistemas, a la masa de acero incandescente se le va dando la forma apropiada, de cilindro, de cigüeñal, etc. Por último, los productos comerciales obtenidos pueden experimentar, de acuerdo con las características que se desean conseguir, tratamientos térmicos. Para ello se emplean unas instalaciones automáticas donde los productos son calentados y enfriados bruscamente. También existen operaciones llamadas de *recocido* y *revenido*, a las que ya nos hemos referido.

Finalmente existen las instalaciones de acabado, donde los productos reciben una serie de operaciones que afectan a su presentación final.

Véase **Arrabio; Fundición y colada; Hierro**

PROCESO DE FABRICACION

INSTALACIONES

colada continua

horno Martin-Siemens

convertidor de oxígeno

pozo de colada

horno eléctrico

cuchara de colada

trenes de desbaste





PRODUCTOS



tocho o lingote de acero



planos

palanquilla

bobinas *(coils)*

El esquema recogido en estas páginas representa los dos niveles que hay que considerar en la fabricación de aceros: el nivel de los procesos industriales y el nivel de los productos que se obtienen en cada una de las fases de los distintos procesos. Partiendo de uno de los tres métodos que hemos descrito: horno Martin-Siemens, convertidor de oxígeno y horno eléctrico, se obtiene el primer producto siderúrgico, el lingote de acero o *tocho*, que puede ser calentado hasta 1.200 °C en hornos de calentamiento, consiguiendo un punto que permite darle formas diversas en los trenes de desbaste. Las formas más comunes son las de *planos*, *bobinas* y *palanquilla*, lingotes en forma de prismas cuadrangulares. La palanquilla puede obtenerse también de forma directa y más económica mediante *colada continua*. A partir de aquí los productos siderúrgicos pueden tomar dos caminos distintos: el de las instalaciones de laminación comercial o el de las instalaciones de forja. En las primeras se obtienen productos tales como bobinas revestidas

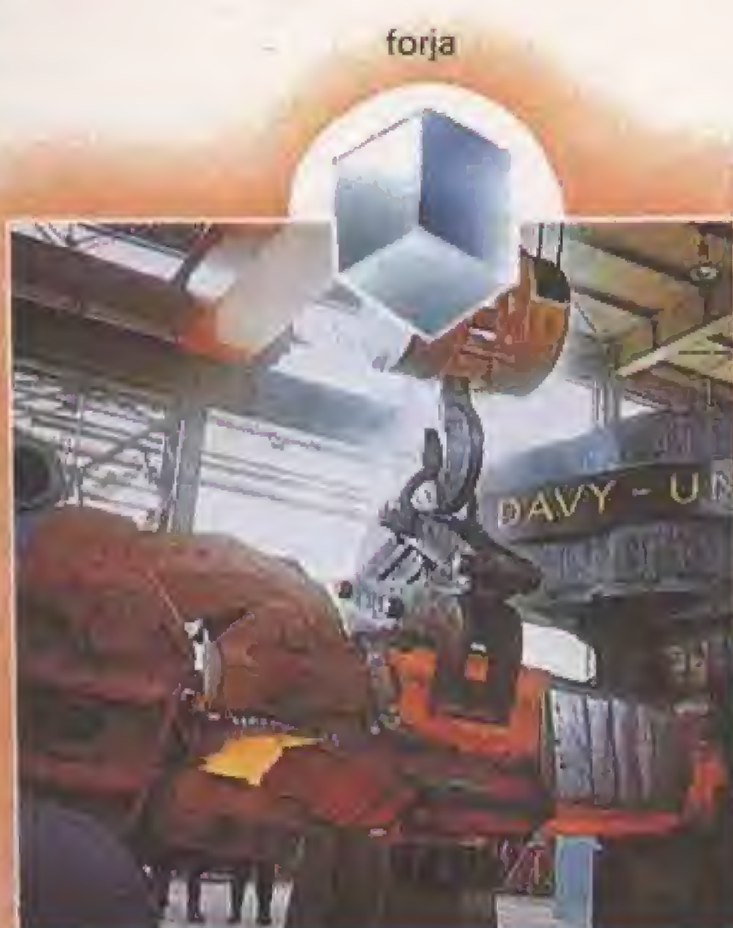
trenes comerciales

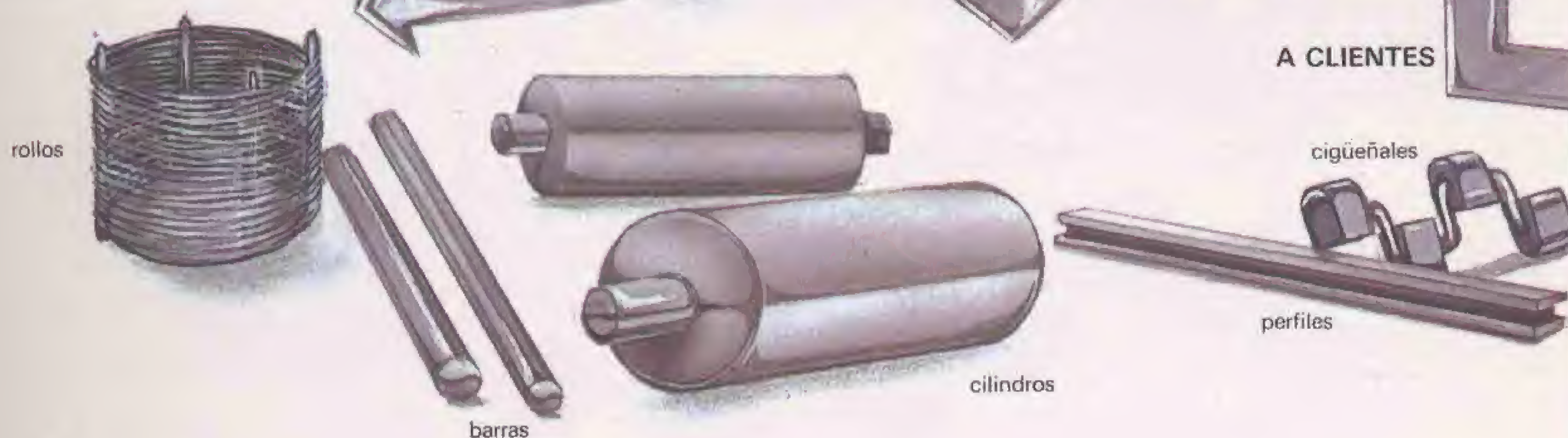




talleres de acabado

forja





Fotos: S. A. Echevarría

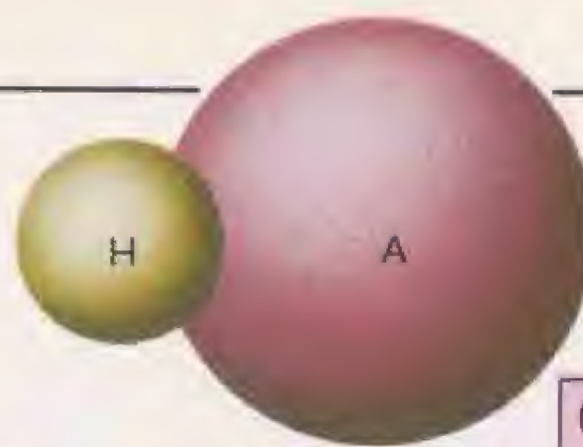
de estaño o zinc, vigas o perfiles, rollos de alambrón, etc. En las segundas se obtienen productos que no admiten laminación, y a los que debe darse formas específicas: cilindros, cigüeñales, etc. Aún caben procesos especiales de acabado mediante tratamiento térmico u otros. Esta es, muy esquemáticamente, la situación actual de la fabricación de acero. En cuanto al futuro de esta industria, se ha especulado mucho. En este sentido, todos los expertos están de acuerdo sobre su importancia tanto actual como futura, y, por lo tanto, en que seguirá siendo una industria básica para el desarrollo de la Humanidad. Debido a su alto índice de polución por un lado, y a su utilización intensiva de energía y de mano de obra por otro, existe un estado de opinión según el cual ésta es una de las industrias típicas a localizar, en el futuro, fuera de nuestra atmósfera y enteramente robotizada, situación que indudablemente ayudaría a conseguir nuevos tipos de acero; en esta línea ya se están utilizando técnicas de colada al vacío.

Acidos y bases

En nuestra vida cotidiana utilizamos con frecuencia determinadas sustancias que pertenecen a dos tipos fundamentales de compuestos químicos: los ácidos y las bases. Muchos frutos y alimentos corrientes contienen ácidos: el ácido cítrico se encuentra en la naranja y en los limones; el ácido málico, en las manzanas; el ácido láctico, en el yogourt; y el ácido acético, en el vinagre. Todos los compuestos mencionados son ácidos orgánicos y contienen átomos de carbono en sus moléculas.

El ácido clorhídrico es uno de los representantes mejor conocidos y más utilizados del grupo de los ácidos inorgánicos (que también se suelen denominar ácidos minerales). Se encuentra, en concentraciones de alrededor del 0,4%, en el jugo gástrico de nuestro estómago, donde realiza una importante función en la digestión de los alimentos. Otros ácidos inorgánicos de enorme interés industrial son los ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico.

Entre las bases que utilizamos con mayor frecuencia podemos citar el amoníaco, que se encuentra en forma de hidróxido amónico en muchos productos destinados a la limpieza de la casa, la leche de magnesia (que es una suspensión de hidróxido de magnesio utilizada para combatir la acidez de estómago) y el hidróxido sódico, empleado para desatascar cañerías de conducción de aguas residuales.



Los ácidos pueden representarse mediante la fórmula general AH, en la que H es el átomo de hidrógeno que es responsable de la "acidez" debido a que tiende a disociarse en solución como protón H^+, en tanto que A representa el resto de la molécula (que puede ser un no metal, como el cloro, o un grupo de átomos, como el sulfato 'SO_4' o el nitrato 'NO_3'). Por analogía, las bases se representan como BOH, donde OH es el grupo hidroxilo que pasa a la disolución como ion negativo OH^- y es responsable de la "basicidad", mientras que B representa el resto de la molécula (por ejemplo, un metal alcalino).

(H)—(A)	ACIDO
H — Cl	ácido clorhídrico
H — O, H — O, SO_2 (O₂S(OH)₂)	ácido sulfúrico
H — O—N(=O)=O	ácido nítrico
H — O—C(=O)—CH_3	ácido acético

El amoníaco y el hidróxido sódico son, además, bases de grandes aplicaciones industriales, junto con el hidróxido potásico y el hidróxido cálcico (que en suspensión acuosa se denomina agua de cal).

Los ácidos y las bases, a pesar de poseer características químicas muy diferentes, son dos tipos de compuestos estrechamente relacionados entre sí. La prueba más evidente es que si a una solución de un ácido, tal como el ácido clorhídrico, se le añade una cantidad adecuada de una base, como el hidróxido sódico, ambas especies químicas se neutralizan entre sí. Como resultado de esta interacción se produce agua y una sal, que en nuestro ejemplo sería el cloruro sódico. La razón de que hablemos de soluciones acuosas estriba en que es característico en un disolvente como el agua el que ocurran fenómenos de disociación iónica (ionización), que constituyen el fundamento del fenómeno de la acidez y la basicidad.

Según la definición clásica son *ácidos* todos aquellos compuestos que se ionizan en el agua liberando iones positivos de hidrógeno, o protones H^+ (átomos de hidrogéno que han perdido su único electrón). Por el contrario, son *bases* aquellos compuestos que se ionizan liberando iones hidroxilo negativos OH^- (moléculas de agua que han perdido un hidrógeno). Hay que tener en cuenta que los iones H^+ y los iones OH^- se liberan también en el proceso de disociación del agua: $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$.

Inversamente, los iones H^+ y OH^- pueden combinarse entre sí para dar una molécula de agua: es lo que ocurre precisamente en una reacción de neutralización. El agua pura está muy débilmente disociada en iones H^+ y OH^-, si bien es neutra porque ambos iones están presentes en la misma concentración (en realidad un protón no existe en forma libre en solución, sino que se une a una molécula de agua dando lugar a un ion hidronio H^+H_2O o H_3O^+; por ello, en las ilustraciones que incluimos, nos referimos siempre a iones hidronio en lugar de protones). Si añadimos un ácido AH, en el que A^- es el no metal o el radical ligado al protón disociable, aumenta la concentración de iones H^+ y la solución acuosa resulta ácida. Si unimos una base BOH, donde B^+ es el metal o radical ligado al *oxidrilo* OH^-, se produce un aumento de la concentración de iones OH^- libres y la solución se torna básica o, como se dice también frecuentemente, alcalina. La acidez o la basicidad de una disolución se expresan en términos de la escala de pH, en la que el valor 7 corresponde a la neutralidad del agua destilada, en tanto que los valores inferiores a 7 indican que la

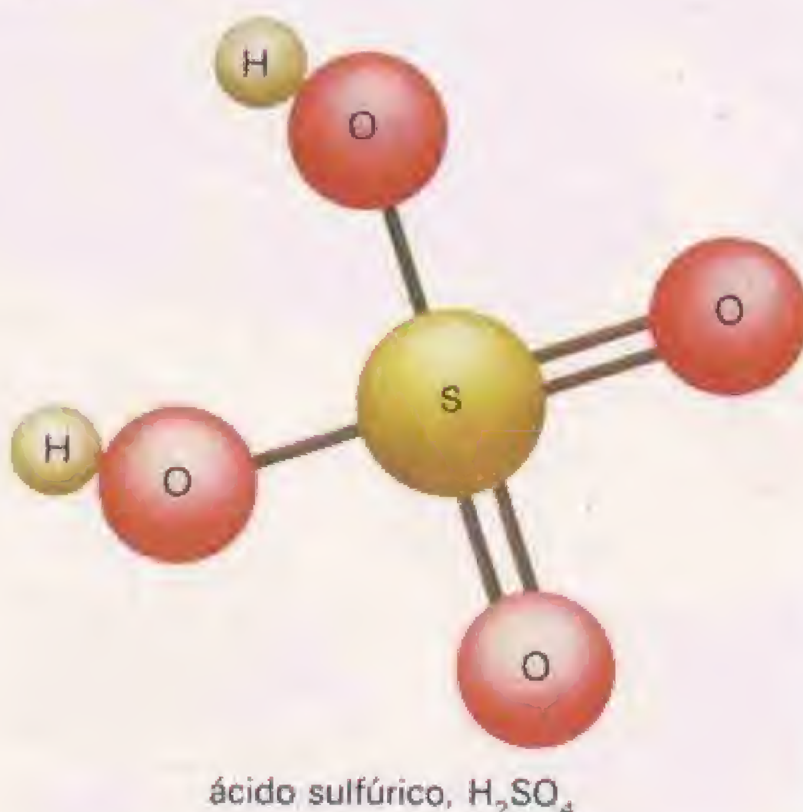


vitriolo verde, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$



anhídrido sulfúrico, SO_3

El ácido sulfúrico, el principal ácido inorgánico, era conocido ya a finales de la Edad Media y se preparaba por destilación de una sal, el sulfato ferroso cristalizado, con siete moléculas de agua (denominado también vitriolo de hierro o vitriolo verde), que se calentaba en un horno. En el dibujo, fechado alrededor de 1650, se muestra la forma del recipiente metálico (C, D y E) que se incorporaba a la estructura del horno. Los vapores producidos, compuestos por anhídrido sulfúrico, SO_3, y agua, H_2O, se recogían y condensaban en el contenedor A, formando una solución concentrada de ácido sulfúrico, H_2SO_4, de acuerdo con la reacción: $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$. Esta solución se conocía con el nombre de aceite de vitriolo (*oleum*) o ácido sulfúrico fumante.



ácido sulfúrico, H_2SO_4

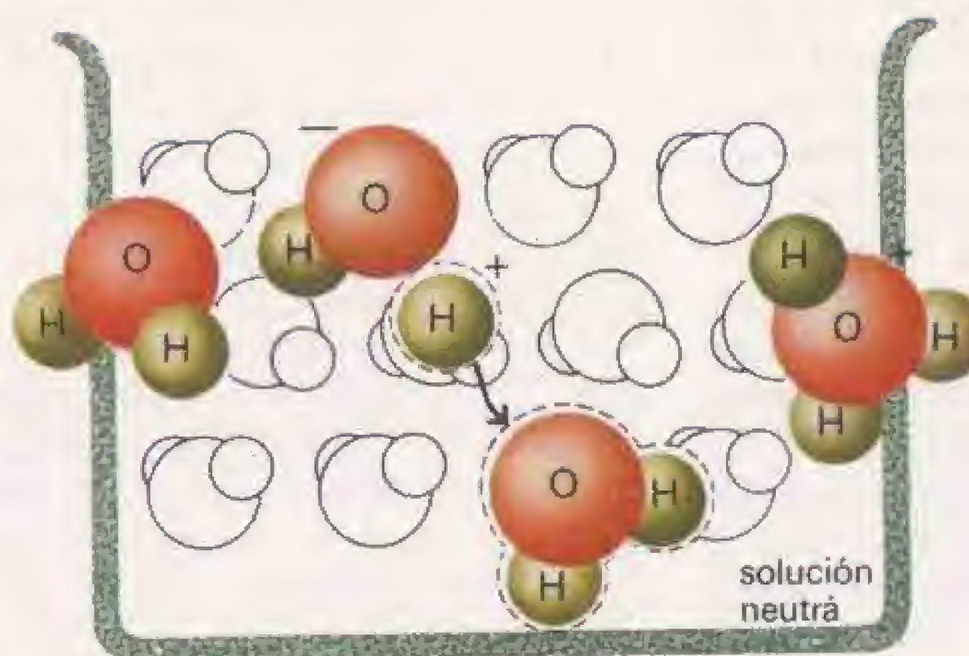


BASE	(B)-(O)(H)
hidróxido sódico	Na—OH
hidróxido amónico	NH_4—OH
hidróxido potásico	K—OH
hidróxido cálcico	Ca(OH)(OH)

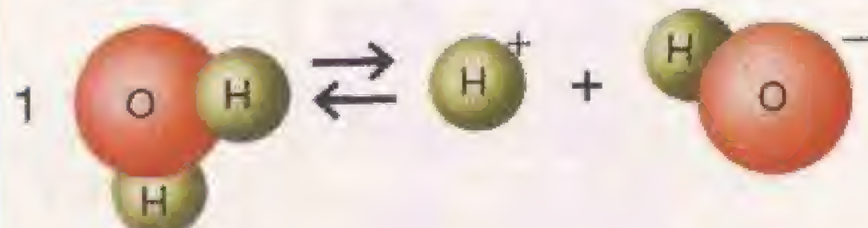
solución es ácida, y los superiores a 7, que la solución es básica o alcalina.

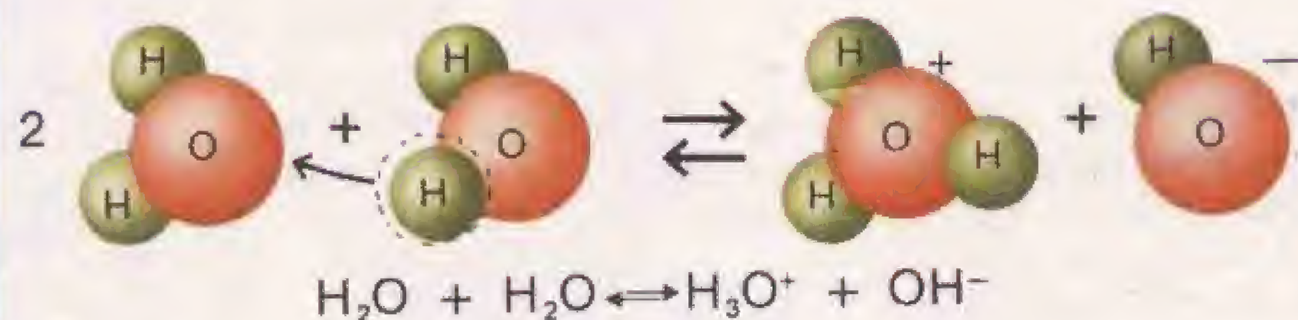
La "fuerza" de un ácido o de una base depende del grado de disociación de su molécula en disolución. Decimos que son *fuertes* ácidos tales como el sulfúrico, el clorhídrico y el nítrico o bases como los hidróxidos de sodio o potasio, que en solución se encuentran completamente disociados en iones H^+ y A^- o en iones B^+ y OH^-, respectivamente. Por el contrario, son *débiles* ácidos como el ácido acético o bases como el hidróxido de magnesio, cuyas moléculas se encuentran sólo parcialmente disociadas en solución. Entre las bases débiles se incluye también el amoníaco, cuya

DISOCIACION DEL AGUA

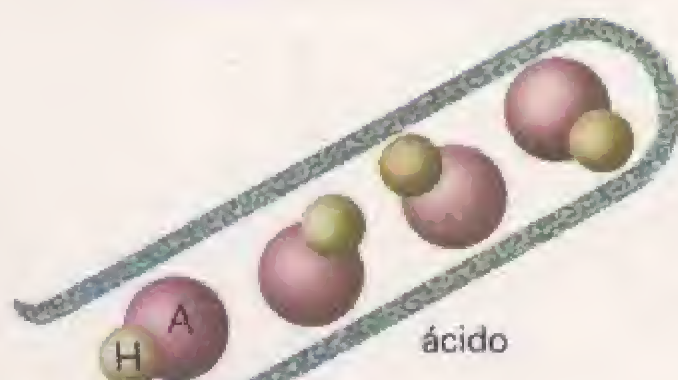


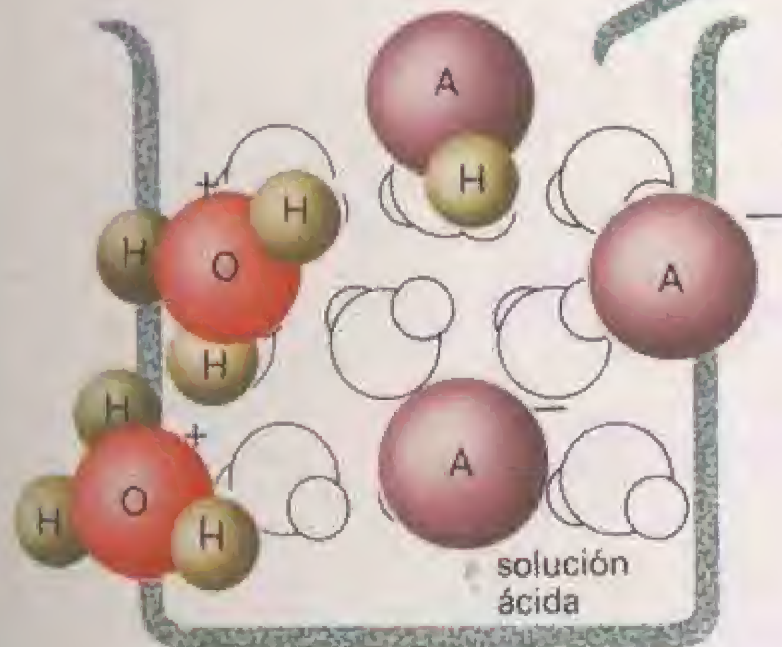


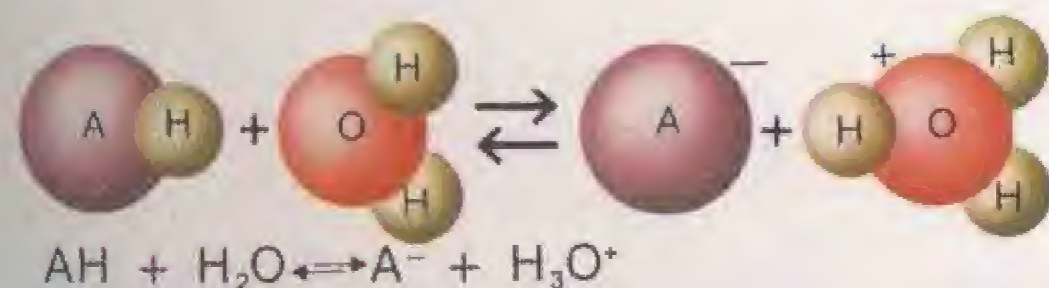




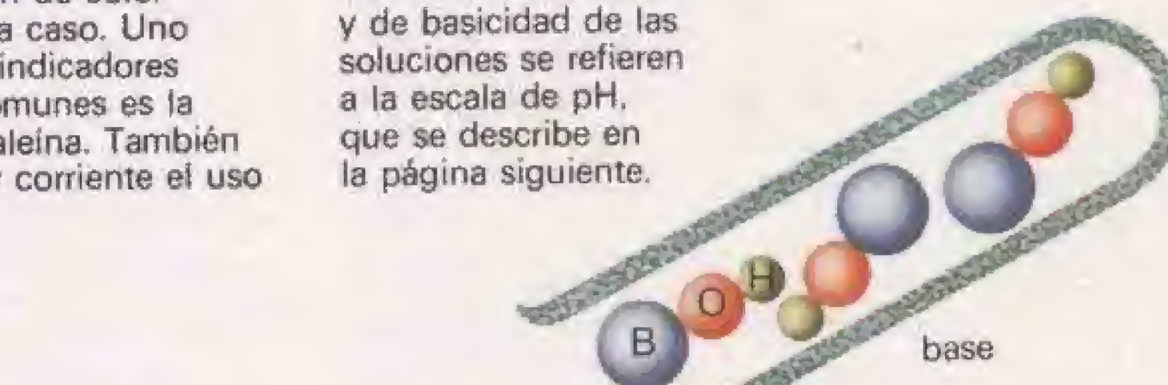
En el agua destilada, H_2O, sólo una de cada 500 millones de moléculas está disociada en un ion hidrógeno o protón H^+ y un ion hidroxilo OH^- (1). Dado que los dos iones H^+ y OH^- se neutralizan entre sí, el agua resulta neutra. El protón, que es el núcleo cargado positivamente del átomo de hidrógeno (es decir un átomo de hidrógeno que ha perdido su único electrón), no puede existir en forma libre en solución porque interacciona con las moléculas del agua circundante formando iones hidronio, H_3O^+. La reacción de disociación está más correctamente escrita, pues, en la forma (2); (la doble flecha indica que una reacción está en equilibrio, es decir, que puede transcurrir en los dos sentidos). Todos los compuestos que se disocian en solución incrementando la concentración de los iones H^+ y (H_3O^+) son ácidos, mientras que los que aumentan la concentración de los iones hidroxilos OH^- son bases.

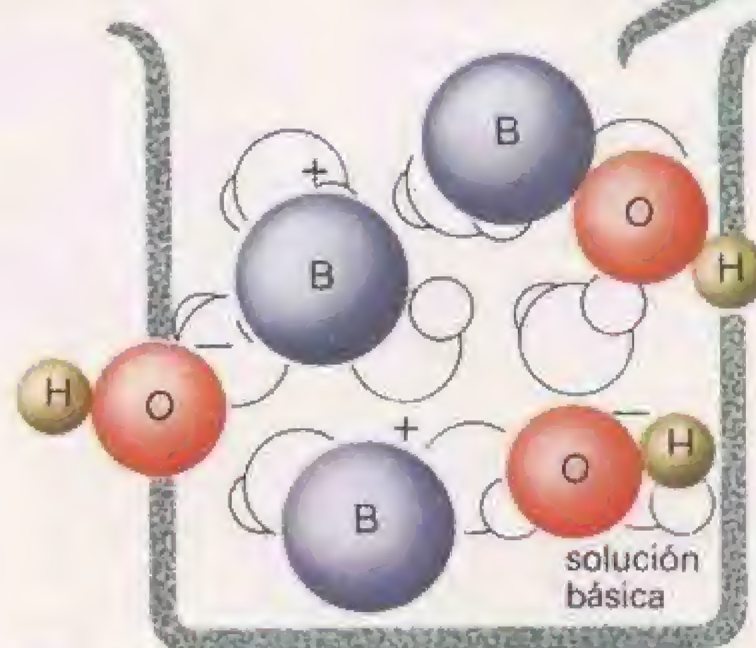


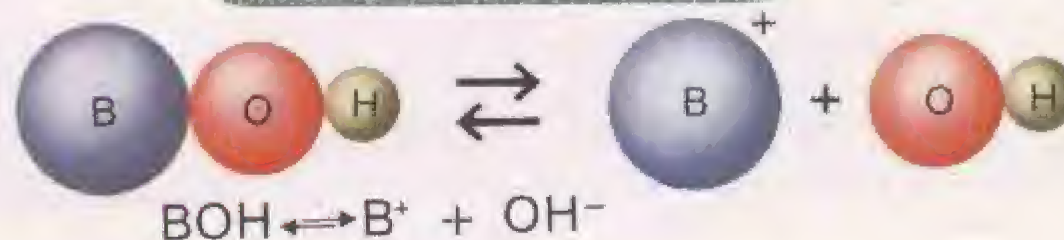




Si se añade un ácido a un volumen de agua dado, ésta se vuelve "ácida", puesto que contiene un exceso de iones H^+ o protones (más exactamente iones hidronio H_3O^+) que se forman por disociación del ácido. Si se añade una base a un volumen de agua, se produce en ésta un exceso de iones OH^-, que derivan de la disociación de la base. La acidez, la basicidad o la neutralidad de una solución pueden determinarse mediante la adición de ciertos compuestos químicos, conocidos como indicadores, que cambian de color en cada caso. Uno de los indicadores más comunes es la fenolftaleína. También es muy corriente el uso de una tira de papel impregnada de tornasol que se colorea de rojo en soluciones ácidas y de azul en soluciones básicas (llamadas también alcalinas). Las medidas de acidez y de basicidad de las soluciones se refieren a la escala de pH, que se describe en la página siguiente.







fórmula es NH_3. Sin embargo, su comportamiento básico no puede explicarse mediante la teoría clásica de la ionización, ya que el amoníaco no puede ceder grupos OH^-. En realidad el amoníaco promueve la formación de iones OH^- en solución debido a que capta un protón del agua para transformarse en amonio NH_4^+.

Otra teoría más reciente permite explicar satisfactoriamente determinados comportamientos aparentemente anormales como el del amoníaco (y el de muchas otras sustancias); además, puede aplicarse generalizadamente al estudio de la acidez y la basicidad en otros disolventes distintos al agua. Esta teoría define a los *ácidos* como compuestos que tienen tendencia a ceder un protón a un segundo compuesto que actúa como base; inversamente, califica como *base* a todo compuesto que tenga tendencia a aceptar un protón de otro compuesto que actúa como ácido. Véase la penúltima página para una descripción más detallada de esta teoría, que se conoce con el nombre de *teoría de Brönsted-Lowry* en honor de sus creadores.

Acidos inorgánicos Los ácidos inorgánicos son generalmente ácidos fuertes con elevada tendencia a ceder uno o varios protones, por lo que presentan un elevado grado de ionización en disolución acuosa. Los ácidos inorgánicos más conocidos e importantes son el ácido sulfúrico, H_2SO_4, el ácido nítrico, HNO_3, el ácido fosfórico, H_3PO_4, el ácido clorhídrico, HCl y el ácido fluorhídrico, HF.

• *Acido sulfúrico*. El ácido sulfúrico fue el primer producto químico obtenido a escala industrial. De hecho, ya hacia 1750 se obtenía mediante calentamiento de una mezcla de azufre y de nitrato potásico y posterior disolución en agua de los vapores generados (en épocas anteriores el ácido sulfúrico se obtenía por calentamiento en un horno de una sal, el vitriolo de hierro o vitriolo verde, con lo que se genera anhídrido sulfuroso, que era después absorbido en agua).

Las instalaciones químicas modernas utilizan el proceso de oxidación catalítica del anhídrido sulfuroso obtenido por cocción de las piritas. El anhídrido sulfuroso resultante, en contacto con el agua, se transforma en ácido sulfúrico. Este es un líquido incoloro, oleoso, que humea en ambientes húmedos. Este ácido tiene una elevada afinidad por el agua, por lo que constituye un deshidratante muy poderoso. Por eso el ácido sulfúrico carboniza muchas sustancias orgánicas (algodón, papel, etc.).

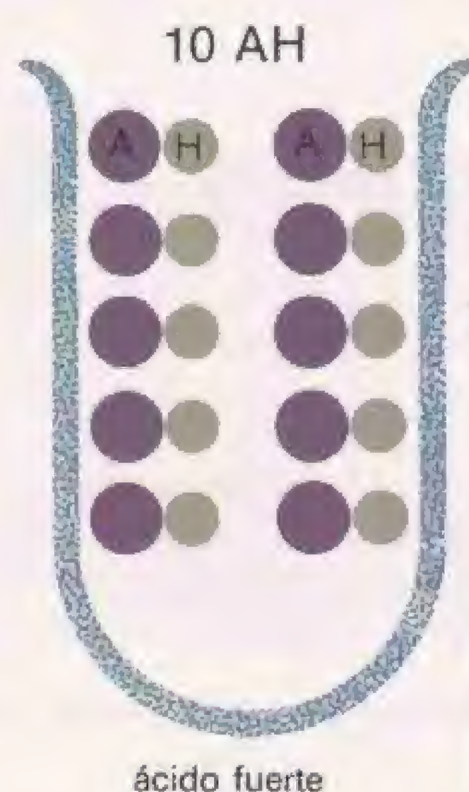
El ácido sulfúrico se emplea en grandes cantidades en los más variados sectores industriales, como, por ejemplo, en la producción de fertilizantes y de explosivos, en el refino del petróleo, etcétera.

• *Acido nítrico*. La característica fundamental del ácido nítrico es la de ser, además de un ácido fuerte, un poderoso oxidante. De hecho es capaz de disolver muchos metales, como el cobre, el mercurio y la plata. Una mezcla compuesta por ácido nítrico (una parte) y ácido clorhídrico (tres partes), y que se denomina "agua regia", es capaz de disolver incluso los metales menos oxidables (tales como oro y platino) transformándolos en los correspondientes cloruros. Para la producción industrial del ácido nítrico se parte de amoníaco, que para tal fin se somete a una serie de tratamientos de oxidación.

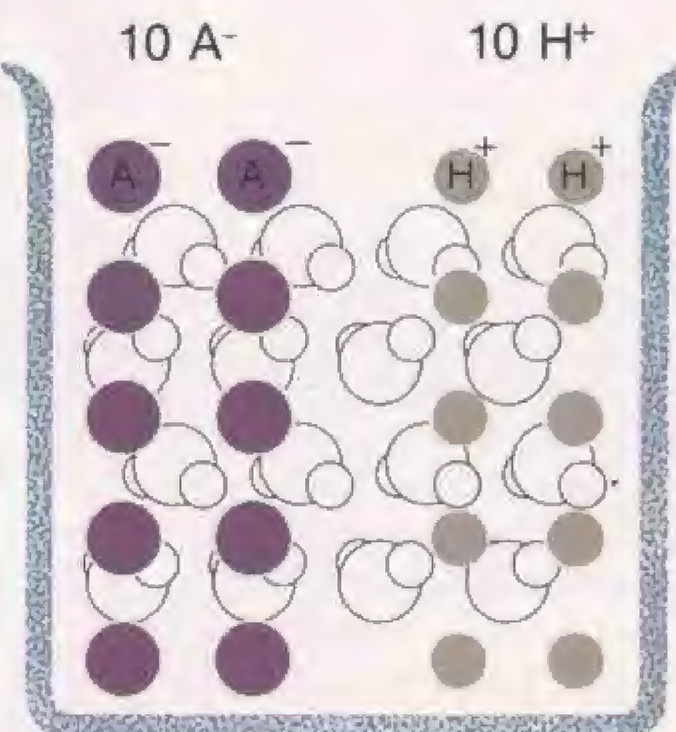
Entre las numerosas aplicaciones del ácido nítrico recordaremos las relacionadas con la producción de fertilizantes (nitrato amónico, nitrato potásico y nitrato cálcico) y de muchos explosivos importantes.

• *Acido clorhídrico*. Es un gas incoloro, de olor picante. En estado anhidro no ataca

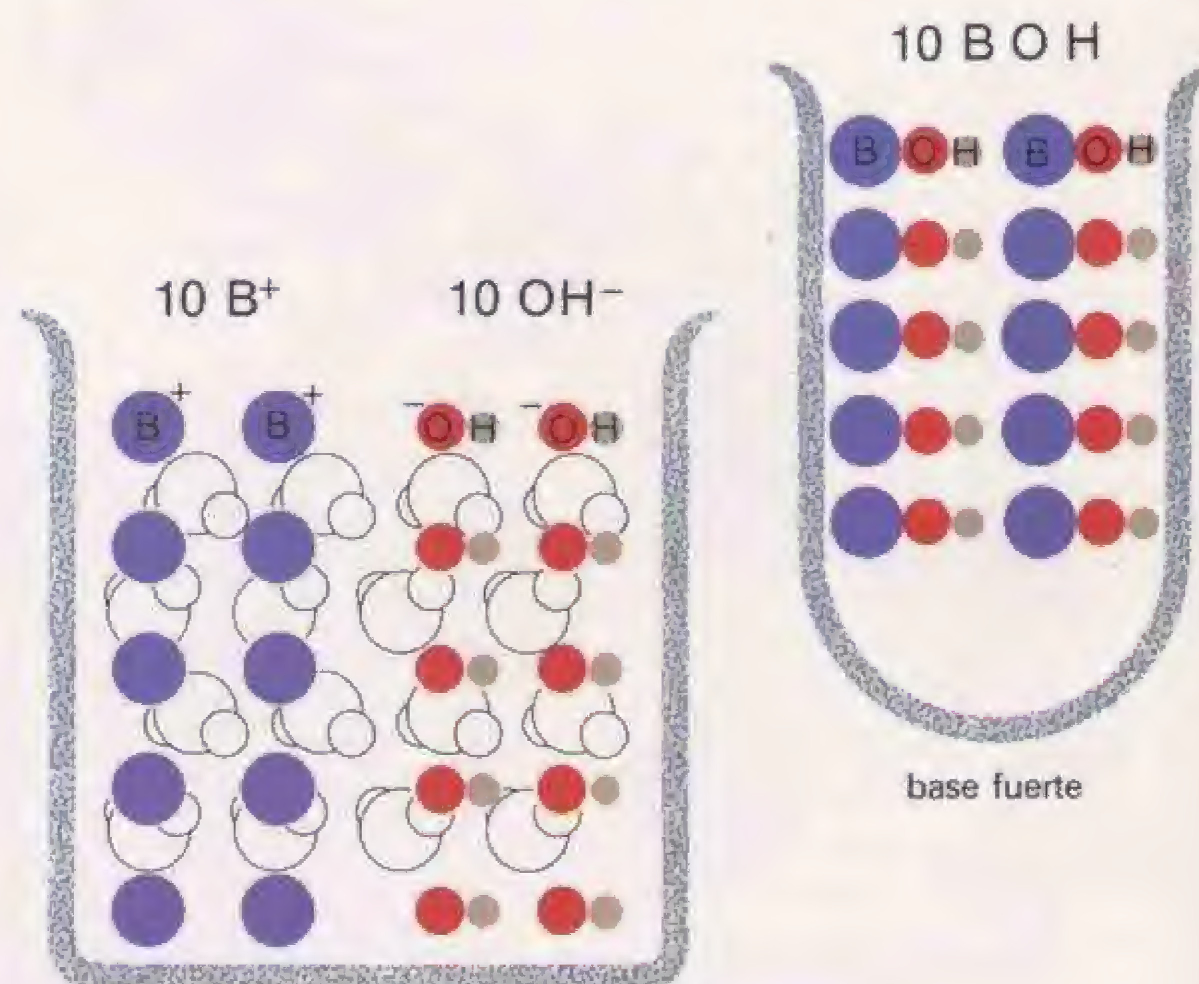
ACIDOS Y BASES FUERTES			
ACIDOS AH		BASES BOH	
$AH \rightarrow A^- + H^+$ $AH + H_2O \rightarrow A^- + H_3O^+$		$BOH \rightarrow B^+ + OH^-$	
$HClO_4$	ácido perclórico	NaOH	hidróxido sódico
HCl	ácido clorhídrico	KOH	hidróxido potásico
H_2SO_4	ácido sulfúrico	$Ca(OH)_2$	hidróxido cálcico
HNO_3	ácido nítrico	$Ba(OH)_2$	hidróxido de bario
HI	ácido iodhídrico	$Sr(OH)_2$	hidróxido de estroncio
HBr	ácido bromhídrico		



ácido fuerte



Si, por ejemplo, a un determinado volumen de agua se le añaden diez moléculas de un ácido fuerte, finalmente éste quedará en solución en forma de diez iones H^+ (H_3O^+) y de diez iones A^-, debido a que su disociación es completa. De la misma forma, diez moléculas de una base fuerte BOH se disociarán en diez iones OH^- y diez iones B^+.



base fuerte

Los ácidos o bases que se disocian completamente en solución acuosa en iones A^- y H^+ (H_3O^+) y en iones B^+ y OH^- respectivamente, se denominan fuertes debido a que bastan pequeñas concentraciones de dichos compuestos para conferir una acidez o una basicidad elevadas a una solución. Los ácidos y bases fuertes, de los que se indican algunos de sus representantes más conocidos en la tabla superior, se comportan tal como se muestra en las ilustraciones.



ACIDOS Y BASES DEBILES	
ACIDOS AH	BASES BOH
$AH \rightleftarrows A^- + H^+$ $AH + H_2O \rightleftarrows A^- + H_3O^+$	$BOH \rightleftarrows B^+ + OH^-$
H_3PO_4 ác. fosfórico	NH_3 amoníaco $[NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-]$
H_2CO_3 ác. carbónico	
HCN ác. cianhídrico	$(CH_3)_3N$ trimetilamina $[(CH_3)_3N + H_2O \rightleftarrows (CH_3)_3NH^+ + OH^-]$
H_2S ác. sulfhídrico	
H_3BO_3 ác. bórico	
HF ác. fluorhídrico	
CH_3COOH ác. acético	
HCOOH ác. fórmico	

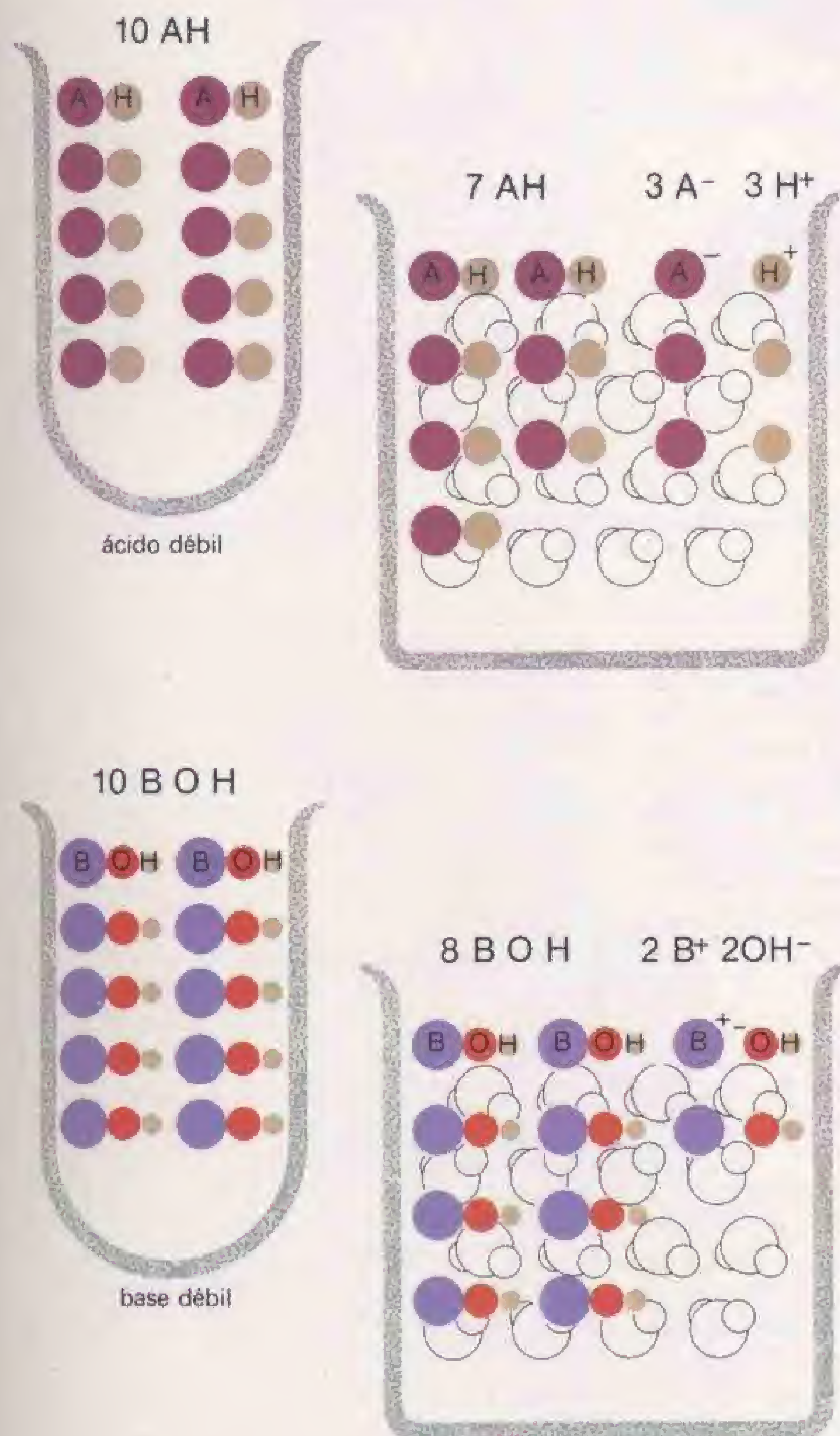
a los metales y en general reacciona con dificultad. Pero en solución acuosa presenta un alto grado de ionización y se comporta como un ácido fuerte, reaccionando con muchos metales, lo que produce desprendimiento de hidrógeno y da lugar a la formación de los cloruros correspondientes.

El ácido clorhídrico gaseoso se suele absorber en agua, en la que presenta una elevada solubilidad. La solución impura, de color amarillo, se denomina corrientemente ácido muriático. La coloración amarilla se debe a la presencia de sales de hierro y de otras impurezas.

El método industrial para la obtención del ácido clorhídrico más utilizado actualmente consiste en la síntesis directa a partir de cloro y de hidrógeno.

El ácido clorhídrico se emplea en numerosas reacciones como reactivo químico. Además, se aplica masivamente en la producción de sustancias orgánicas empleadas como colorantes, productos farmacéuticos y en la preparación de plásticos de uso corriente, como el cloruro de polivinilo.

• *Acido fluorhídrico*. El ácido fluorhídrico se prepara mediante la reacción de la fluorita (mineral compuesto por fluoruro cálcico) con ácido sulfúrico. El ácido fluorhídrico se desprende en forma de líquido que humea intensamente. Este ácido tiene la propiedad característica de atacar y



ácido débil

base débil

Los ácidos y bases débiles, como los incluidos en la tabla superior, experimentan solamente una disociación parcial en disolución debido a que el átomo de hidrógeno y el grupo OH^- están más fuertemente ligados en sus respectivas moléculas que en las de ácidos y bases fuertes. Por consiguiente, el número de protones H^+ (H_3O^+) y de iones hidroxilo OH^- liberados por número de moléculas añadidas será menor cuanto más débil sea el ácido o la base.

La acidez y la basicidad se miden utilizando una escala que se denomina *escala de pH*. El pH se expresa mediante un número, generalmente comprendido entre 1 y 14, que representa el menos logaritmo de la concentración de los iones hidrógeno en solución, medida en iones-gramo por litro. El agua destilada contiene una diezmillonésima de iongramo por litro de H^+ (H_3O^+), es decir 10^{-7}; el logaritmo de 10^{-7} es -7, por lo que el pH es 7. Toda solución que contenga más de 10^{-7} iones-gramo por litro de H^+ es ácida; así, 10^{-1} iones-gramo por litro de H^+ proporcionan una acidez muy elevada, que equivale a pH = 1. En las soluciones básicas (o alcalinas) la concentración de los iones H^+ es inferior a 10^{-7} iones-gramo por litro. Dado que el producto de las concentraciones de los iones H^+ y OH^- tiene un valor constante de 10^{-14}, conociendo el valor de una de ellas puede deducirse la otra.

ACIDEZ (expresada en pH) DE ALGUNAS SOLUCIONES COMUNES	
sustancia	pH
HCl comercial concentrado (37 % en peso)	−1,1
solución 1M de HCl	0,0
jugo gástrico	1,4
zumo de limón	2,1
zumo de naranja	2,8
vino	3,5
zumo de tomate	4,1
café	5,0
orina	6,0
agua de lluvia	6,5
leche	6,9
agua pura a 24 °C	7,0
sangre	7,4
solución de bicarbonato para cocinar	8,5
solución de bórax	9,2
agua de cal	10,5
amoníaco para uso doméstico	11,9
solución 1M de NaOH	14,0
solución saturada de NaOH	15,0

$$* [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14} \text{ iones-gramo/litro}$$

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} \qquad [OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]}$$

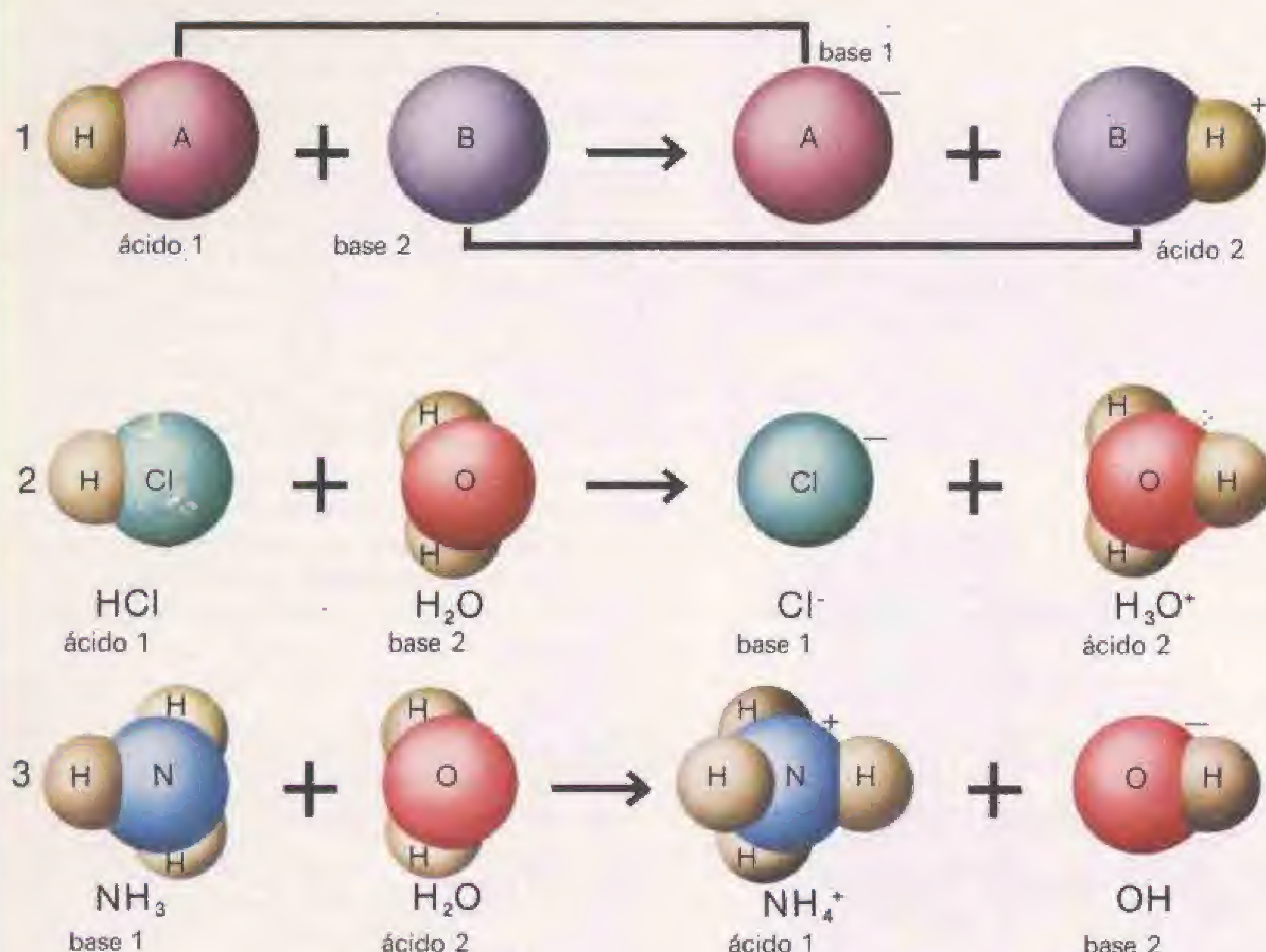
*los corchetes indican concentraciones

NEUTRALIDAD

BASICIDAD CRECIENTE →

7 8 9 10 11 12 13

10^{-7} 10^{-9} 10^{-11} 10^{-13}



La teoría de Brönsted-Lowry es la seguida preferentemente por los químicos para definir el comportamiento ácido o básico de los compuestos, debido a su validez general. Esta teoría define como "ácido" toda sustancia que es capaz de ceder un protón a otra sustancia que actúa como "base", y como "base" a toda sustancia que sea capaz de aceptar protones de un ácido. Además, introduce el concepto de pares conjugados ácido-base (1). El ácido AH, al ceder un protón a la base B, se transforma en su base conjugada A^+, mientras que la base B se transforma en su ácido conjugado BH^-. Así (2), cuando el ácido clorhídrico se disocia en agua cediendo un protón a esta última (que se comporta como una base), se transforma en el ácido conjugado H_3O^+ (ion hidronio). El amoníaco, por el contrario (3), se comporta como base en presencia del ácido agua, del cual acepta un protón, transformándose en el ácido conjugado NH_4^+ (ion amonio); por su parte, el agua se transforma en la base conjugada OH^- (ion hidroxilo). Como puede verse, el agua presenta un comportamiento ambivalente y puede actuar, según los casos, como ácido o como base.

corroer todos los compuestos que contienen silicio, como la porcelana y el vidrio. El ácido fluorhídrico se usa principalmente para la preparación de derivados orgánicos, en particular de los hidrocarburos fluorados. Entre estos, el más conocido es el freón, que se utiliza entre otras cosas como gas propelente en los aerosoles.

• *Acido fosfórico*. En estado puro, el ácido es un sólido de color blanco que funde a 42 °C para dar un líquido siruposo (con consistencia de jarabe). Este ácido ataca casi todos los metales, especialmente en caliente. La obtención industrial del ácido fosfórico se suele realizar tratando fosfato tricálcico con ácido sulfúrico, o tratando anhídrido fosfórico puro con agua. El ácido fosfórico se emplea fundamentalmente en la preparación de fertilizantes a base de polifosfatos.

Acidos orgánicos Estos ácidos reciben el nombre de "orgánicos" debido a que, junto con el resto de los compuestos orgánicos, poseen carbono como componente fundamental de sus moléculas. El carbono es el elemento básico de los compuestos constituyentes de los seres vivos.

Los ácidos orgánicos desempeñan un papel importantísimo en los procesos vitales de animales y plantas. Están presentes en toda molécula proteica de cualquier célula individual y se encuentran en las más variadas sustancias, desde el aceite de oliva hasta la cera de abeja.

Los ácidos orgánicos se denominan también *ácidos carboxílicos* debido a que poseen el grupo reactivo cuya fórmula es —COOH (a su vez denominado grupo carboxílico) y que consta de un átomo de carbono unido a un átomo de oxígeno mediante un doble enlace y a un grupo OH mediante un enlace sencillo. El átomo de hidrógeno del grupo OH puede liberarse como protón H^+, y de este hecho depende el comportamiento ácido del grupo carboxílico. Entre los ácidos orgánicos más conocidos figura el *ácido fórmico*, cuya fórmula es H—COOH. Es el ácido carboxílico más sencillo. Cuando nos pica una abeja o nos muerde una hormiga, el punto afectado escuece porque el aguijón de la abeja o la mandíbula de la hormiga inyectan ácido fórmico en la sangre.

Otro ácido orgánico muy conocido es el *ácido acético*, CH_3-COOH. El ácido acético era conocido por los antiguos en forma de vinagre, que se forma por oxidación de los líquidos alcohólicos diluidos, como el vino o la sidra, cuando se exponen al aire. El vinagre contiene alrededor de un 15% de ácido acético. El ácido acético se emplea en la fabricación de resinas, de fibras de acetato, de anhídrido acético y de muchos ésteres (utilizados como disolventes). Se utiliza también en la fabricación de películas cinematográficas.

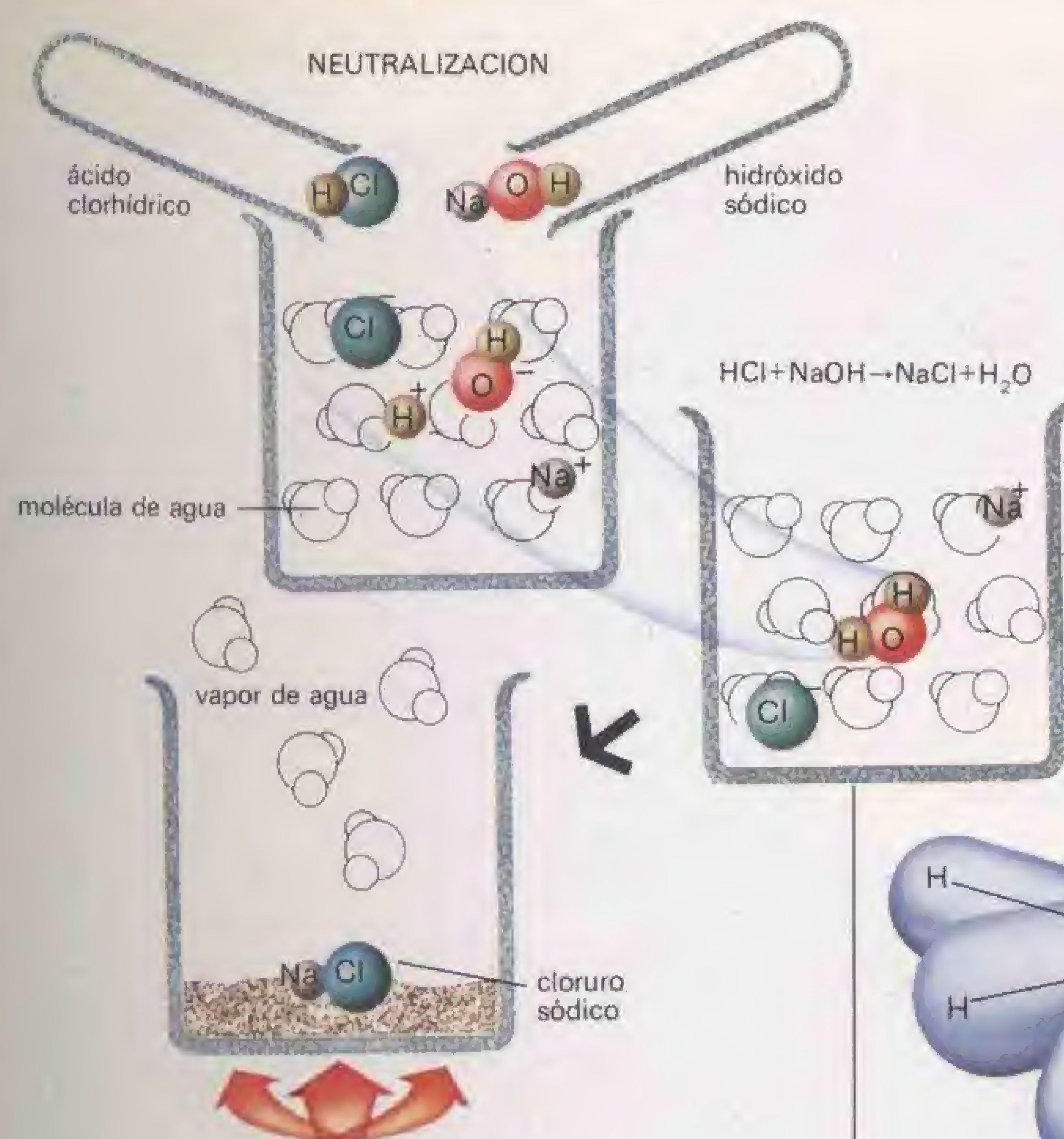
Otro ácido carboxílico muy difundido es el *ácido cítrico*, que posee tres grupos carboxílicos. Este ácido se encuentra en cantidades importantes en los frutos llamados cítricos y en particular en el limón, que puede contener hasta 20-35 gramos de ácido cítrico por kilogramo.

Un grupo de ácidos carboxílicos denominados *ácidos grasos* son importantes constituyentes de las grasas animales y vegetales. El más común es el ácido oleico, que se encuentra por ejemplo en los aceites de palma, de oliva, de cacahuete y de girasol. Otro ácido graso digno de mención es el ácido esteárico, que se encuentra en el tocino, constituyendo alrededor de un tercio de su peso.

Existen otros muchos tipos de ácidos orgánicos. Entre ellos destacan los *aminoácidos*, que constituyen los eslabones elementales para la síntesis de las proteínas, que a su vez son las sustancias fundamentales de nuestras células. La disposición y las diferentes posibilidades de combinación de los aminoácidos en la síntesis de las proteínas están a su vez determinadas por otro tipo de compuestos orgánicos de carácter ácido fundamentales para la vida, los ácidos nucleicos ADN y ARN.

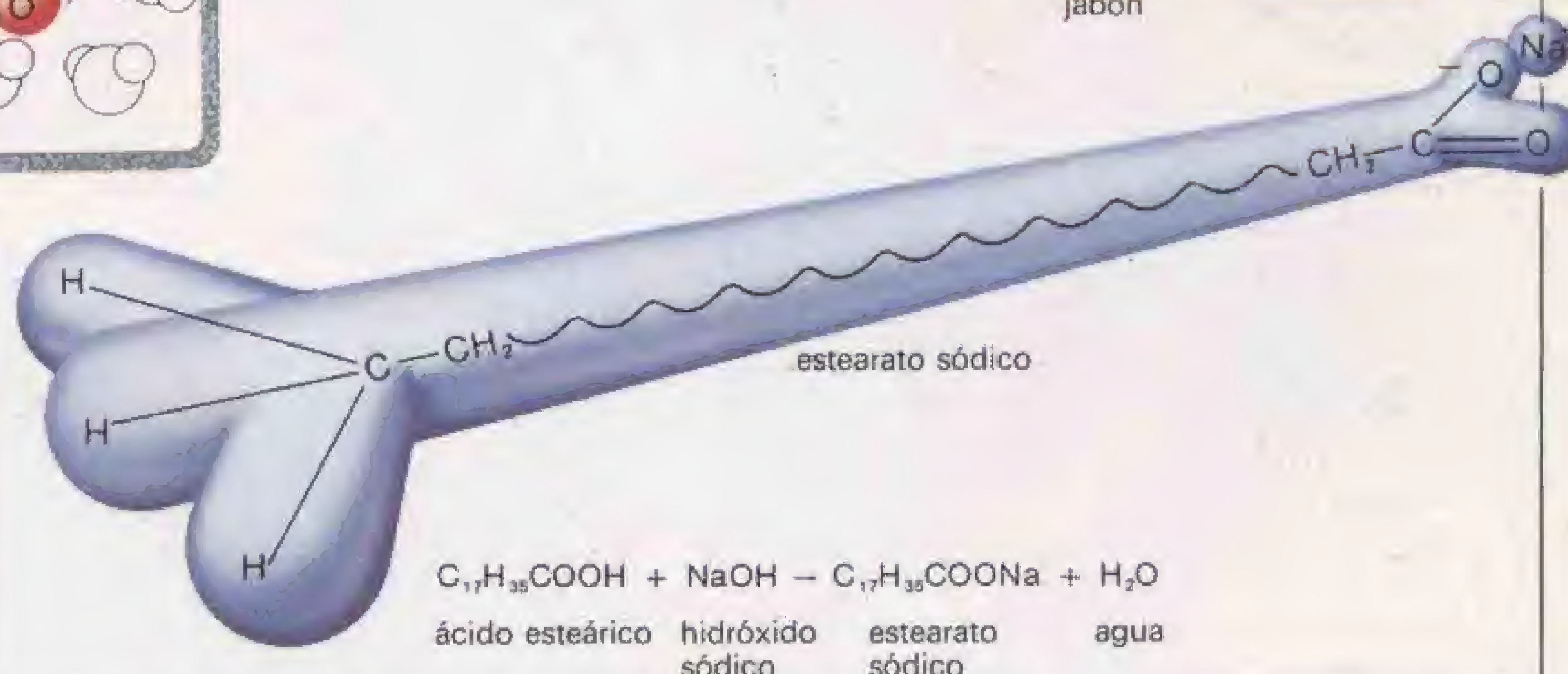
Bases inorgánicas Las bases más fuertes son los hidróxidos de los metales alcalinos, el *hidróxido sódico*, NaOH, y el *hidróxido potásico*, KOH, seguidos de los hidróxidos de los metales alcalinotérreos.

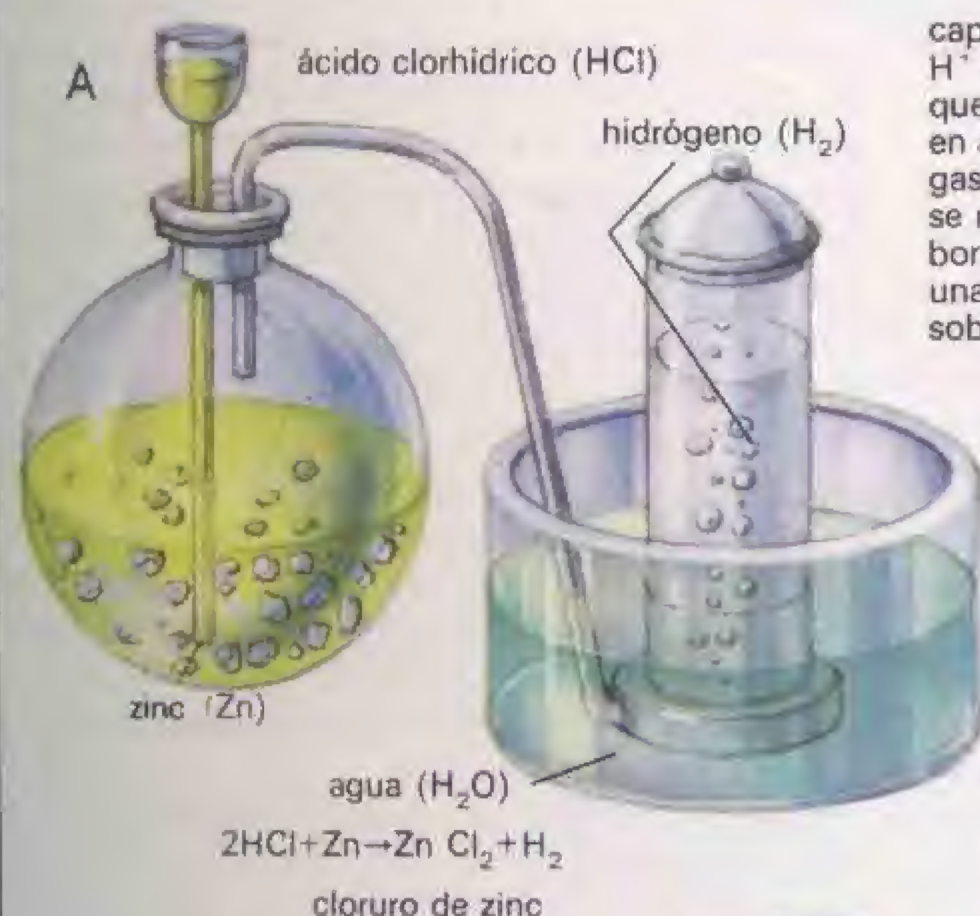
Otros hidróxidos de metales tales como el zinc y el aluminio presentan un comportamiento ambivalente. De hecho, en presencia de ácidos fuertes estos hidróxidos se comportan como bases y dan lugar a la formación de la sal correspondiente al ácido. Pero a su vez pueden comportarse como ácidos en presencia de bases fuertes dando lugar también a sales.



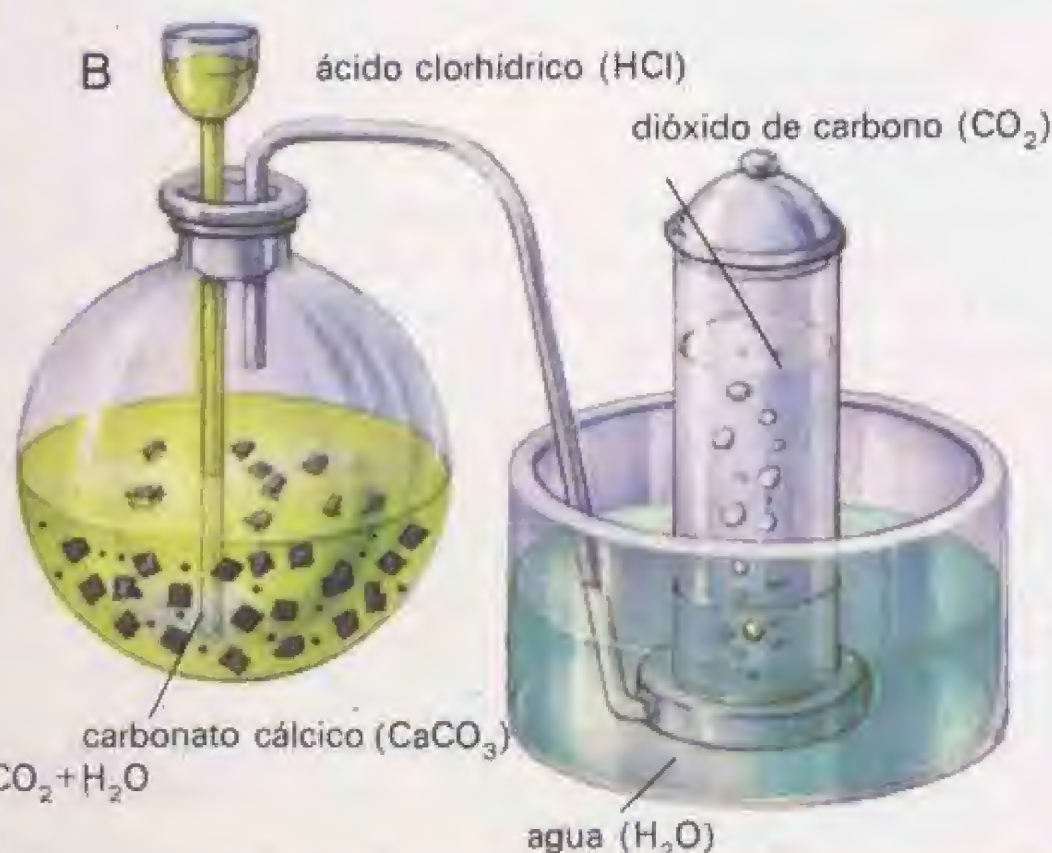
Si vertemos en un volumen de agua un ácido AH y una base BOH, los iones hidrógeno liberados por el primero se neutralizan con los iones hidroxilo liberados por la segunda y se combinan para dar agua, mientras que los iones negativos A y los iones positivos B$^+$ forman una sal BA. Si ésta es soluble, permanece en solución como sal disociada en A B$^+$. Sin embargo, si el agua se evapora rápidamente mediante calentamiento, la sal precipita en forma de una masa sólida. De esta forma se obtiene el cloruro sódico NaCl: basta preparar una solución acuosa conteniendo una concentración idéntica de ácido clorhídrico, HCl, y de hidróxido sódico, NaOH. Al evaporar el agua se obtiene finalmente cloruro sódico, NaCl. El jabón es un producto que se obtiene a través de una reacción de neutralización ácido-base.

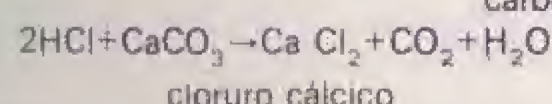
Al tratar una mezcla de ácidos grasos (ácidos orgánicos constituyentes de las grasas animales y de los aceites) con hidróxido sódico, se obtienen las sales sódicas correspondientes. Un ejemplo de éstas es el estearato sódico, que representamos en la figura.





Los ácidos fuertes reaccionan con numerosos metales y los incluyen en la solución como iones, liberando al mismo tiempo hidrógeno gaseoso. Así, si vertemos ácido clorhídrico sobre trocitos de cinc, A, éste entra en solución en forma de iones cinc bivalentes (Zn^{++}). Los electrones liberados por el cinc son captados por los iones H$^+$ del ácido, que se transforman en átomos de hidrógeno gaseoso, los cuales se recogen haciendo borbotear en una probeta invertida sobre un recipiente que contiene agua (en un *aparato de Kipp*). Los ácidos fuertes tienen además la propiedad de desplazar a los ácidos débiles de sus sales: así, tratando carbonato cálcico con ácido clorhídrico se desprende ácido carbónico, que se disocia dando agua y dióxido de carbono gaseoso (CO$_2$), que puede recogerse. En la disolución queda cloruro cálcico.





Los hidróxidos de sodio y potasio son las bases de mayor importancia industrial.

• *Hidróxido sódico*. Es un sólido blanco que absorbe agua del ambiente y se disuelve parcialmente. También puede absorber dióxido de carbono del aire, dando lugar a carbonato sódico. El hidróxido sódico ataca los tejidos animales solubilizándolos rápidamente. En la industria se obtiene mediante un proceso electrolítico, haciendo pasar una corriente continua a través de una solución acuosa que contiene cloruro sódico. El hidróxido sódico se utiliza a gran escala en la fabricación de jabones, en las industrias de piel y de celulosa, en la purificación de aceites minerales y grasas, en la metalurgia del aluminio y en la preparación de compuestos orgánicos.

• *Hidróxido potásico*. Se prepara por electrólisis de una solución de cloruro potásico, de modo similar al procedimiento empleado para la obtención del hidróxido sódico. Se emplea en la industria de jabones, en la textil, en la del carbonato potásico y en la galvanoplástica.

Bases orgánicas En química orgánica las bases más corrientes son los compuestos que contienen nitrógeno, que se obtienen sustituyendo con radicales orgánicos los átomos de hidrógeno del amoníaco. Así se obtienen las aminas (por ejemplo, la metilamina, CH_3NH_2).

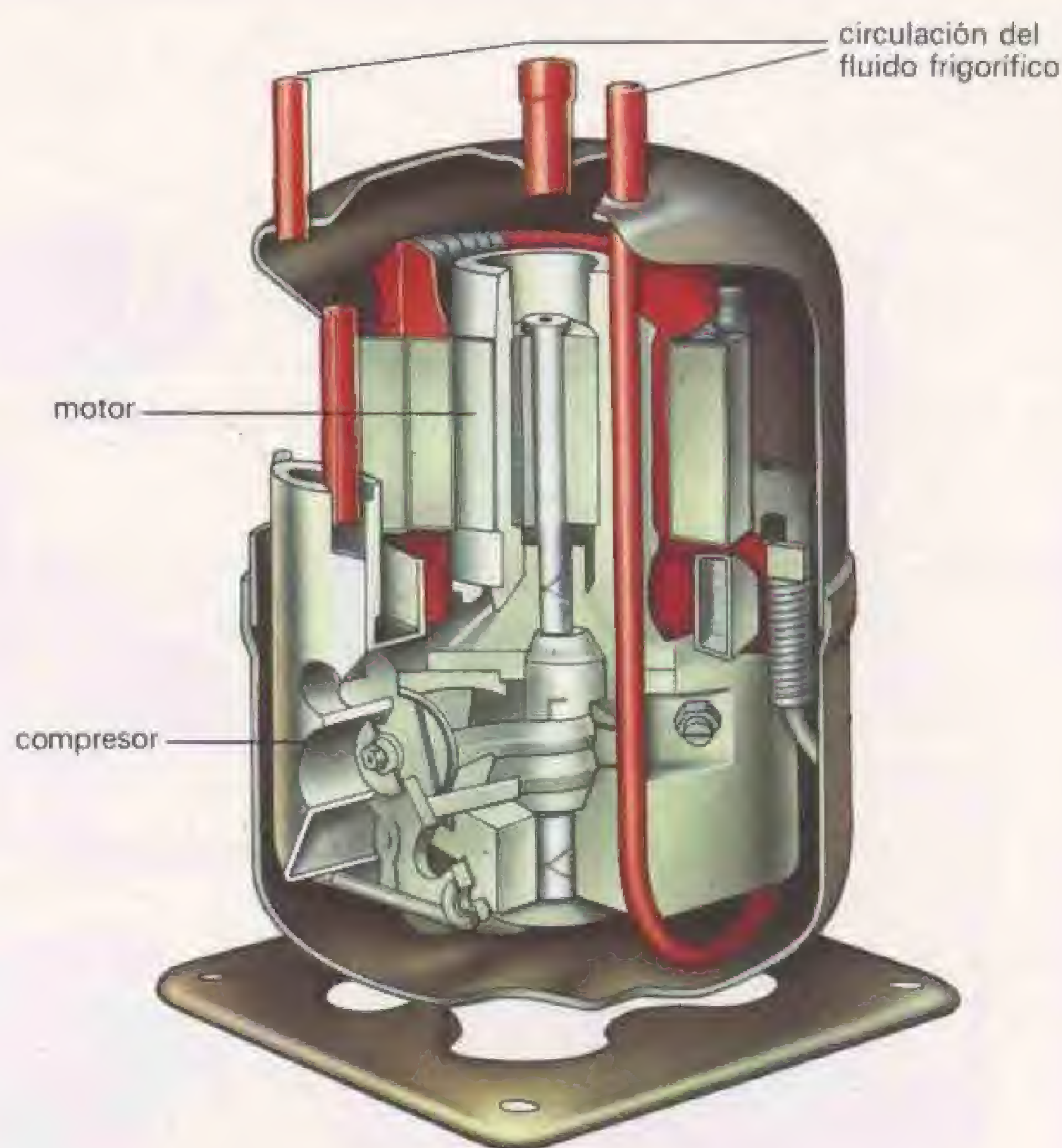
Véase **Agua; Aminoácidos; Amoníaco; Azufre; Carbono; Cloro; Hidrógeno; Ion; Metales alcalinotérreos; Nitrógeno; pH, acidez y basicidad; Química Orgánica; Sales**

Acondicionador de aire

Los modernos acondicionadores de aire son aparatos destinados a mantener determinadas condiciones de temperatura, de humedad y de pureza del aire. Su apariencia poco tiene que ver con la de los primeros aparatos, máquinas grandes y toscas, inventadas a fines del siglo XIX con el fin de controlar los niveles de humedad en las instalaciones de las industrias textiles. En 1922 se construyó uno de los primeros edificios públicos (un cine) dotado de acondicionamiento de aire, y a partir de entonces la climatización de edificios y locales ha ido incorporándose progresivamente como un accesorio muy común a la construcción de los mismos. De forma que, gracias a aquélla, hoy en día los arquitectos no dependen ya de las ventanas para el suministro de aire, y así pueden aprovechar grandes áreas interiores para fines antes impensables.

Toda instalación de aire acondicionado consiste en un equipo que mantiene la temperatura del aire dentro de unos límites prefijados, controla la humedad del ambiente (cantidad de vapor de agua presente en el aire), limpia el aire de partículas de polvo y suciedad, y lo hace circular. Ahora bien, el diseño varía notablemente de unas instalaciones a otras en función de los fines a los que se destina el edificio en el que se ha de colocar: industrial, comercial, de viviendas, de oficinas, de almacenes, etc.; pero, en todos los casos, las características del proyecto deben ser estudiadas detenidamente y sujetarse a unos límites muy estrictos, debido a consideraciones de orden fisiológico.

A la derecha, el grupo motocompresor de un acondicionador de aire. Este grupo, hermético y sellado, está previsto para funcionar muchos años. Su misión es comprimir el gas que circula a través de los intercambiadores de calor: a baja temperatura enfría el aire caliente del ambiente, y, a alta, al ser refrigerado por el aire exterior, elimina el calor absorbido del interior.
En la página siguiente: arriba, un equipo de aire acondicionado que contiene todos los dispositivos necesarios para enfriar el aire de una habitación de forma autónoma y sin necesidad de ningún fluido refrigerante externo; abajo, despiece de un acondicionador con sus principales componentes.



Cómo es un acondicionador El acondicionador de ventana utilizado para climatizar el aire de una habitación se compone de un filtro lavable, un motor eléctrico, un compresor, varios ventiladores y una serie de pequeños tubos formando un serpentín que contiene el fluido frigorífico (los fluidos frigoríficos son compuestos químicos que absorben rápidamente el calor). El principio básico de la refrigeración, que constituye la función fundamental realizada por el acondicionador, es el intercambio de calor. Simplificando: el acondicionador toma aire de un local, le "quita" parte de su calor y lo impulsa de nuevo al interior del mismo; simultáneamente, el calor absorbido es expulsado por la parte del equipo que comunica con el exterior ¿Cómo es posible que el acondicionador repita continuamente este ciclo? Usando fluidos frigoríficos adaptados para esta misión; entre ellos, el más conocido recibe el nombre de freón.

Los fluidos frigoríficos Los diversos tipos de freón —compuestos sintéticos de carbono, flúor y cloro— experimentan cambios de estado de líquido a gas y viceversa dentro de la gama de temperaturas propias del verano. Todos ellos son inodoros, incoloros, no corrosivos, no inflamables y generalmente inocuos, ventajas que no tenían los anteriores fluidos frigoríficos, por ejemplo el amoníaco. Los diferentes tipos de freón (existen muchos tipos de fórmulas diferentes en función del servicio que realizan) son buenos refrigerantes porque tienen una densidad relativamente alta y un punto de ebullición bajo. Estas características intervienen cuando el fluido circula por el serpentín del evaporador.

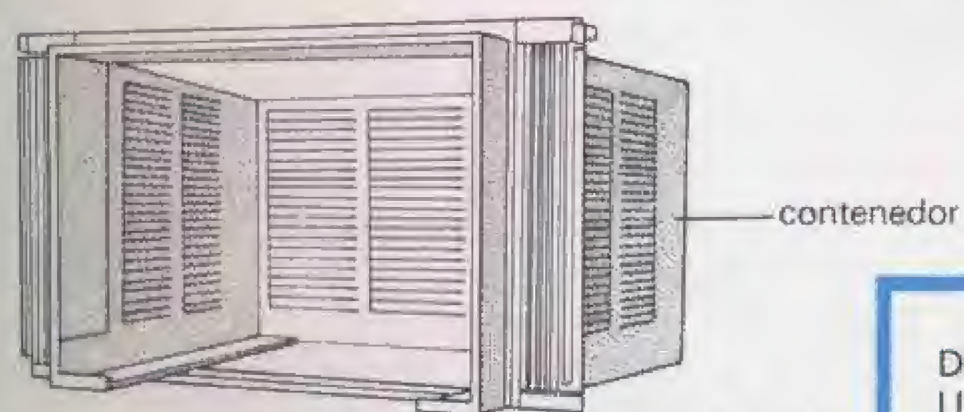
Mientras el acondicionador de aire está en funcionamiento, el ventilador del evaporador aspira el aire del local haciéndolo pasar a través del serpentín y poniéndolo en contacto con la superficie externa de éste. El aire se enfría ya que el freón absorbe su calor hasta que, gracias a su bajo punto de ebullición, hierve y pasa al estado gaseoso. Al mismo tiempo, la humedad del aire se reduce porque el vapor de agua presente en el aire se condensa sobre las espiras más frías del evaporador. De este modo se consigue que el aire cuando es impulsado por el acondicionador esté más frío y seco que cuando fue aspirado; está también más limpio, ya que todos los acondicionadores tienen un filtro adecuado a este fin.

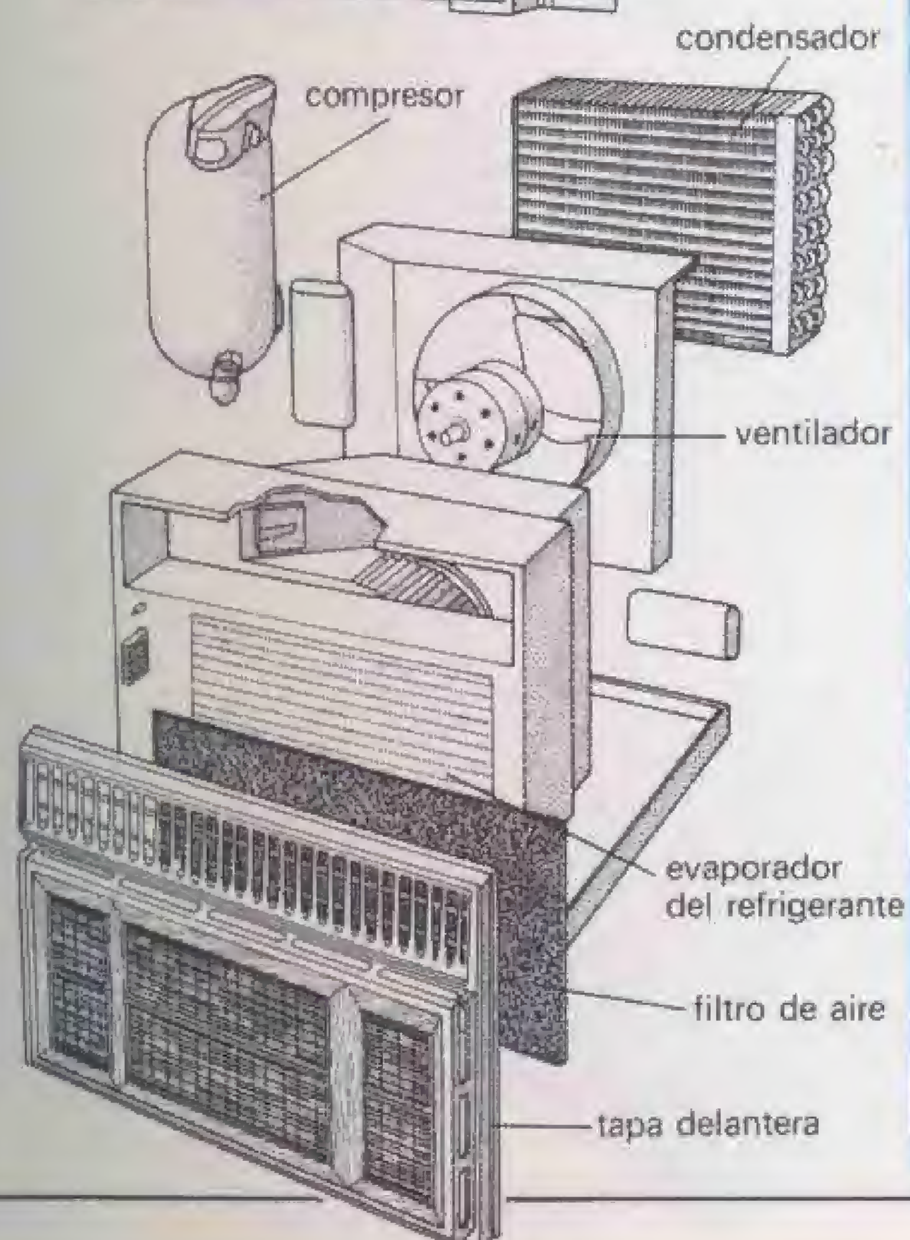
El compresor El freón ya recalentado en la fase de vapor llega, desde el evaporador y a través de una tubería, al compresor, cámara provista de un pistón que reduce su volumen y aumenta la presión del gas y por tanto su temperatura. El compresor actúa también como bomba, obligando al fluido a circular por el circuito. Desde el compresor, el freón, en estado gaseoso, pasa por el serpentín del condensador, al que un ventilador impulsa aire del exterior. Como el freón está a mayor temperatura que el aire, cede calor y se enfría hasta condensarse. A continuación se provoca una disminución de presión del líquido haciéndolo pasar por un capilar que, al tener una sección muy pequeña, provoca una considerable pérdida de carga —o presión— y de temperatura. Después entra en el serpentín del evaporador donde, al absorber calor del aire que hay en la habitación, se gasifica, siendo éste el fluido que se envía al compresor; de esta manera se cierra el ciclo frigorífico. Todo este ciclo se desarrolla dentro de un tubo que recorre el interior de un acondicionador estándar de ventana.

En las instalaciones de climatización centralizada el aire es filtrado, enfriado o calentado y deshumidificado por un equipo central y después impulsado a todo el edificio —de viviendas, oficinas o industrial— a través de conducciones especiales de metal u otros materiales.

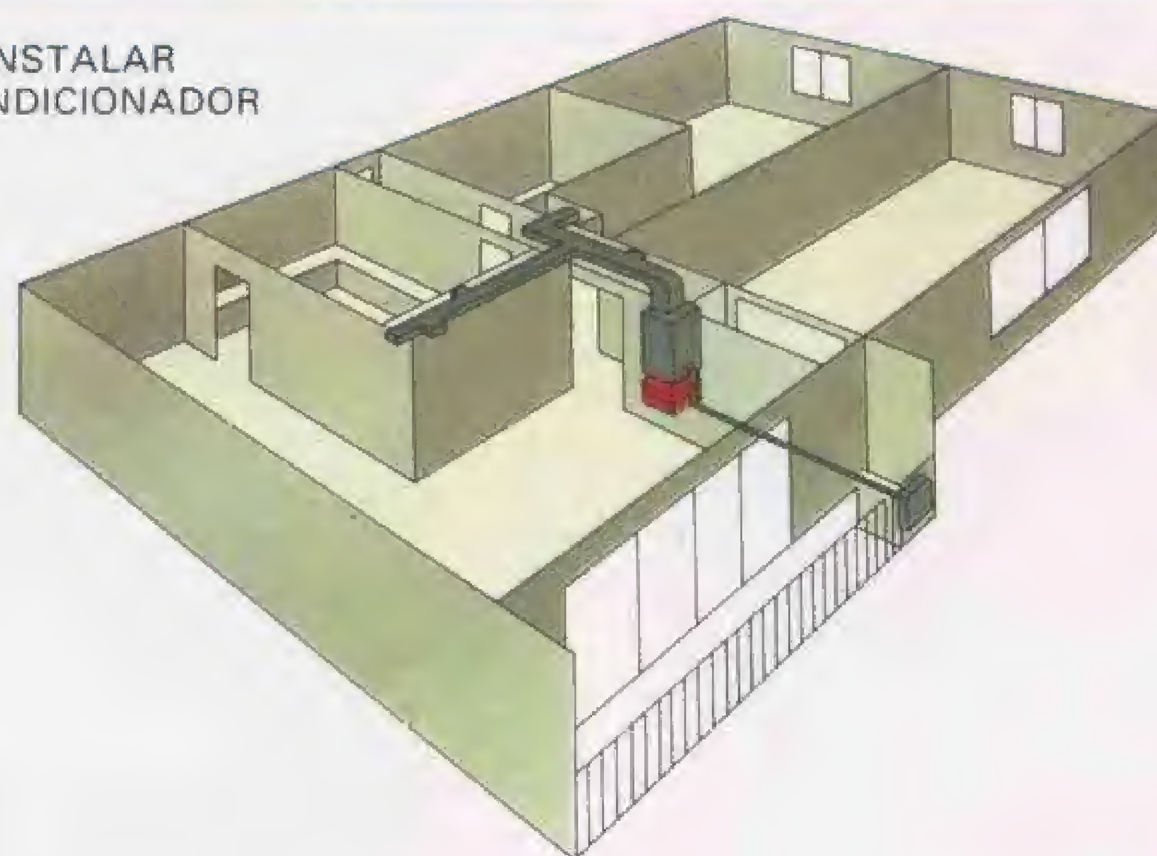
El control de la limpieza, temperatura y humedad del aire es fundamental para el correcto desarrollo de muchos procesos productivos, desde la fabricación de relojes hasta la de municiones o el buen funcionamiento de los grandes ordenadores, de modo que el acondicionador de aire es una máquina imprescindible en las salas de proceso de datos y en fábricas de alta tecnología. Igualmente lo es también en los laboratorios farmacéuticos, quirófanos de los hospitales, etc. En ese caso, el aire debe ser, además, estéril y mantener libre de contaminación la zona que rodea la mesa de operaciones.

Véase **Compresor de gas; Freón; Frigorífico y congelador**





DONDE INSTALAR UN ACONDICIONADOR



Acondicionar el aire de una vivienda mediante varios grupos pequeños no resulta económico, tanto por el coste del equipo como por el consumo de energía; un único acondicionador de suficiente capacidad, situado en el lugar más favorable, es la mejor solución. En esta instalación, idónea para una vivienda pequeña, se observa la situación central del equipo, con una prolongación del circuito caliente para evacuar al exterior el calor extraído. Los conductos de aire frío están colocados por el techo. La adecuada situación del acondicionador hace que la climatización alcance a todas las habitaciones.

Acuario

Un acuario es un recipiente, generalmente de vidrio y de forma rectangular, donde pueden desarrollar su vida cierto número de plantas y animales acuáticos, marinos o de agua dulce. Dentro de ese "lago" u "océano" en miniatura tienen lugar todos los procesos biológicos de la vida acuática, por lo que es necesario recrear lo más fielmente posible el medio natural de las especies vegetales y animales que en él se mantienen.

Aunque existen acuarios destinados a la investigación científica, los que aquí consideramos suelen cumplir funciones de entretenimiento o decorativas. El valor ornamental de los peces ya fue apreciado por los chinos hace muchos siglos. Posteriormente, la costumbre oriental de tener peces en cautividad se introdujo en Europa y, hoy día, un acuario constituye elemento de adorno en muchos hogares y edificios.

El correcto mantenimiento del nicho ecológico establecido en un acuario requiere la cuidadosa vigilancia de una serie de elementos: dureza, oxigenación, depuración, nivel de acidez o basicidad y temperatura del agua, e iluminación de todo el conjunto. En cualquier acuario el agua es el elemento fundamental, ya que en ella se desarrolla la vida de sus pobladores; de ahí la necesidad de conocer sus características y "adaptarlas", dentro de ciertos límites, a las requeridas por el tipo de fauna y flora que se instale en aquél.

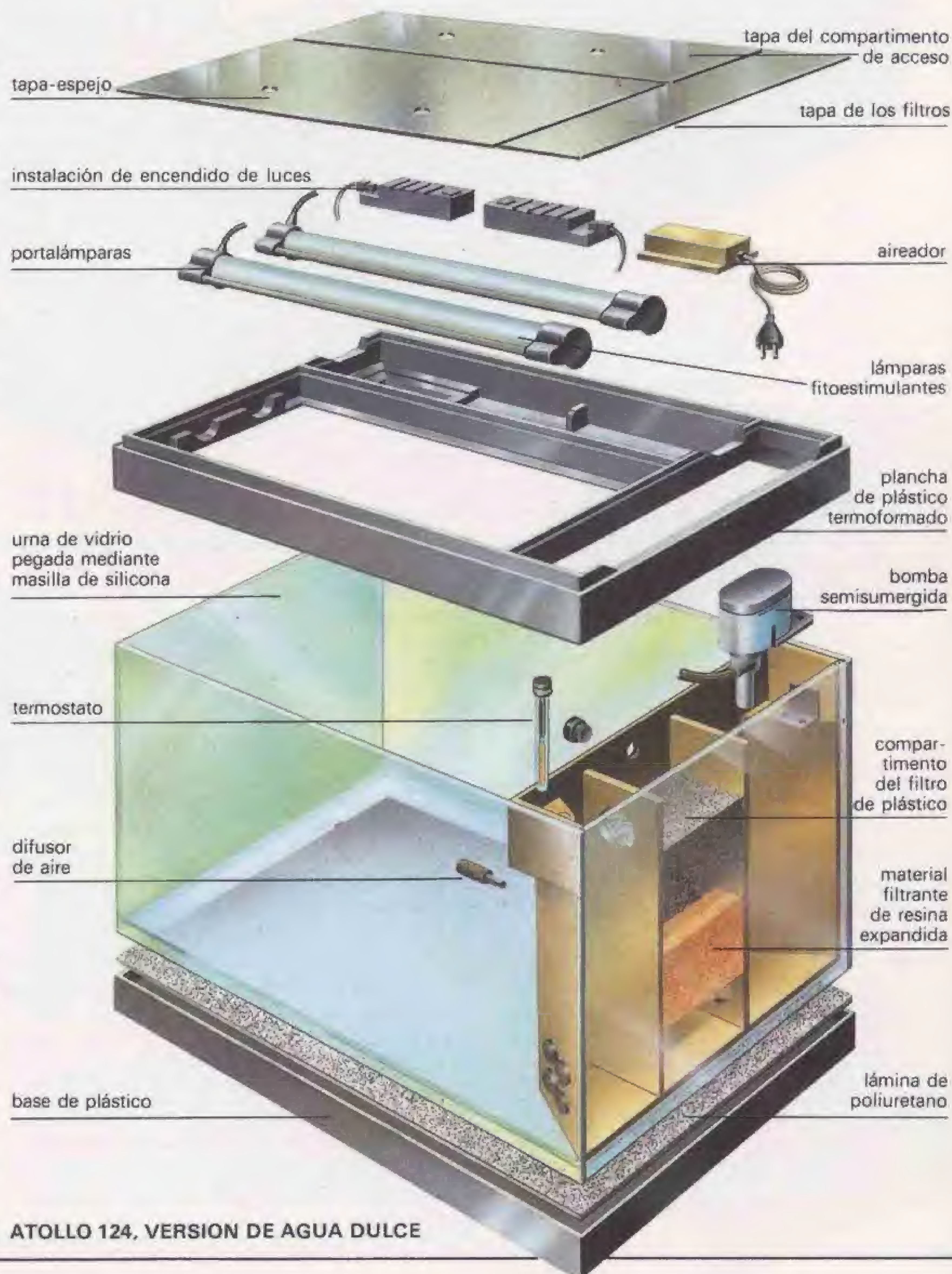
La *dureza* del agua viene dada por la cantidad de sales minerales que tenga en disolución. Algunas de esas sales —sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio principalmente— no pueden eliminarse mediante ebullición: se habla entonces de dureza permanente. Por el contrario, los bicarbonatos de magnesio y calcio que se forman en el agua en presencia del dióxido de carbono pueden eliminarse por ebullición, hablándose entonces de dureza temporal. La suma de ambas es la denominada dureza total, que suele medirse en grados alemanes (dGH), de manera que un grado dGH es equivalente a 10 mg de óxido de calcio (CaO) por litro de agua. El grado de dureza del agua está en relación directa con el tipo de fauna y flora a la que va a servir de *medio*; por ejemplo, los peces tropicales no soportan una dureza superior a 10 °dGH.

La correcta *oxigenación* del agua del acuario también es fundamental, ya que los peces toman directamente del agua el oxígeno que necesitan para respirar. Los acuarios que permiten una mejor oxigenación son los que tienen forma rectangular, pues en ellos la superficie del agua en contacto con la atmósfera es mayor que en los pequeños globos de vidrio, lo que facilita el intercambio de oxígeno entre el aire y el agua. Sin embargo, no basta con asegurar la cantidad de oxígeno; también hay que eliminar el dióxido de carbono producido por la respiración de los animales, para lo que es conveniente introducir algunas plantas en el acuario. Gracias a la función clorofílica, posible siempre que la luz sea adecuada y suficiente, las plantas absorben el dióxido de carbono y producen oxígeno. Si no basta con las plantas introducidas, es necesario aportar oxígeno mediante la instalación de una bomba accionada por un pequeño motor eléctrico. El aire es conducido a lo largo de una canalización estrecha, penetrando en el recipiente a través de un difusor de material poroso.

Es conveniente completar el sistema de aireación con un circuito para la *purificación* y *limpieza* del agua, compuesto por un recipiente en cuyo interior se introducen filtros de diversos materiales (arenas de diferentes grosores, lanas sintéticas, carbón normal o activado, turba normal o activada, resina, etc.). Caracoles acuáticos o babosas realizan esta misma tarea al impedir la excesiva proliferación de algas y limpiar el agua de algunos desechos, por lo que resulta útil, e incluso decorativo, mantener algunos dentro del acuario.

Además del oxígeno existe un factor fundamental en la composición del agua del acuario: es el *pH*, o grado de acidez o basicidad del agua. Los valores del pH abarcan una escala que va del 0 al 14, considerándose neutro un pH 7, de manera que de 0 a 6,9 se encuentran los valores ácidos y de 7,1 a 14 los alcalinos o básicos.

Para controlar el pH es necesario disponer de una escala colorimétrica, en la que los colores indican el grado de acidez o basicidad, y de unos "indicadores" líquidos que, agregados en determinadas cantidades a una muestra de agua del acuario, hacen que ésta adquiera una coloración determinada en función de su pH. También se utilizan indicadores de papel que varían su tonalidad al ser introducidos en el agua, también en función de ese valor. Si los valores así obtenidos no correspondiesen a los ideales pueden corregirse con productos específicos o con medidas tales como la agregación de descalcificadores basados en el uso de resinas catiónicas o de ácidos húmicos o con filtros con turba que, acidulando el agua, hacen que el valor del pH

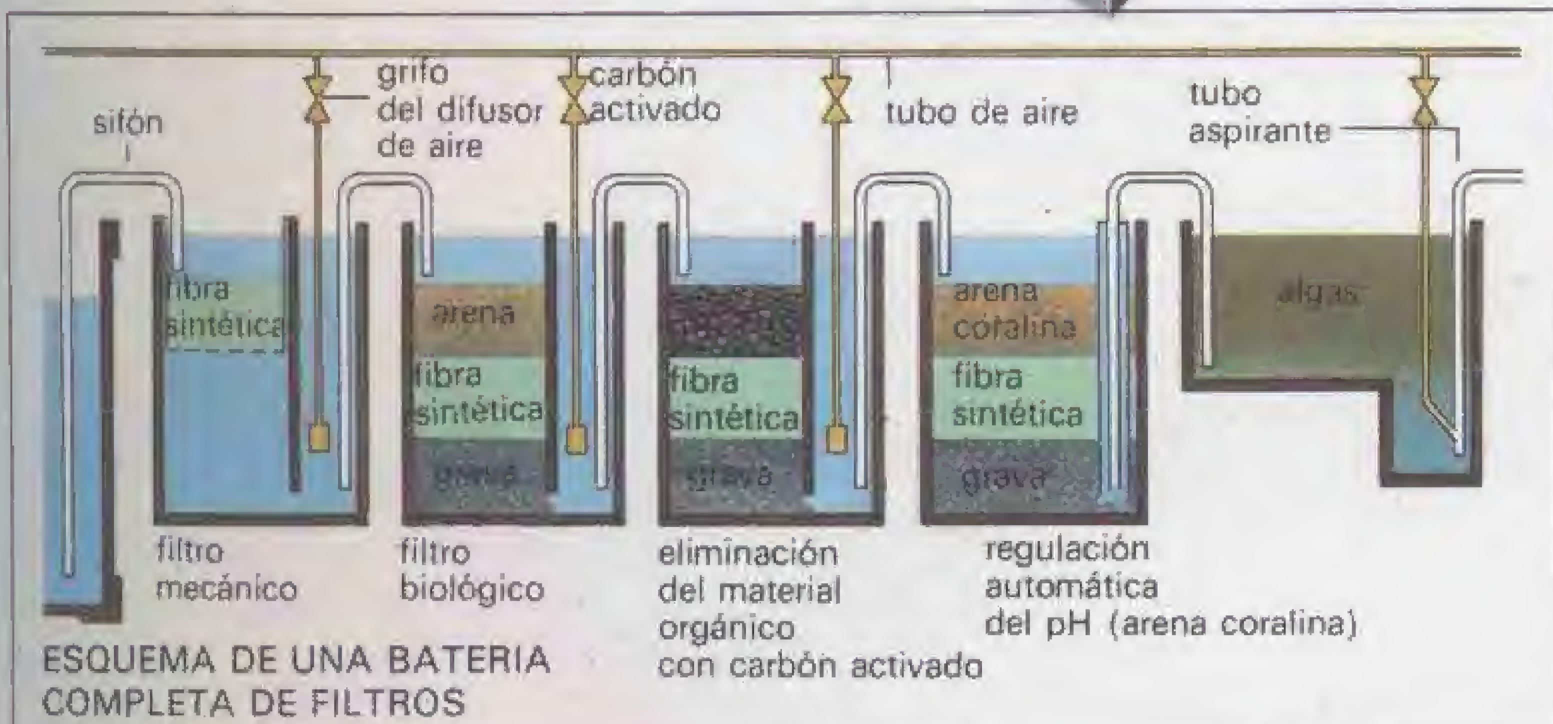


ATOLLO 124, VERSION DE AGUA DULCE

En la página anterior se muestra el despiece de un acuario de agua dulce. Se aprecian los accesorios que se mantienen sumergidos en el agua y que sirven, principalmente, para la depuración de la misma; en la parte superior, el sistema de iluminación. En el acuario, bajo estas líneas, y de izquierda a derecha, se recoge cómo se aspira el agua al primer compartimento en el que se filtra mediante un material de fibra sintética. El agua pasa a continuación a otro compartimento en el que se filtra a través de carbón y gravilla. En el tercer compartimento, el agua pasa a través de un filtro de arena coralina fina; posteriormente, una bomba la devuelve al acuario. En el último compartimento, el termostato mantiene el agua a la temperatura deseada. Abajo, esquema de una batería completa de filtros y un filtro externo con bomba aspirante.

FILTROS INTERIORES EN UN ACUARIO MARINO

bomba o aspirador
termostato
lámpara germicida
fibra sintética
espumadera
gravilla
carbón no activado
arena coralina
turba o carbón activado
difusor de aire
material filtrante



ESQUEMA DE UNA BATERIA COMPLETA DE FILTROS

demasiado alto pase a valores normales. Generalmente, en agua blanda se obtiene un pH inestable que tiende a superar el 7, valor neutro ideal, por ejemplo, para los peces tropicales de agua dulce.

La *temperatura* del agua, igual que el pH, debe estar adaptada a la fauna y flora que pueble el acuario. Para muchas de las especies de peces típicas de acuario es suficiente una temperatura del agua en torno a los 18 °C (por ejemplo, para el pez dorado). Sin embargo, los peces tropicales tienen necesidad de una temperatura que oscila entre 21 °C y 24 °C. Para mantener el agua a la temperatura deseada puede utilizarse un termostato, al que se acopla una resistencia eléctrica.

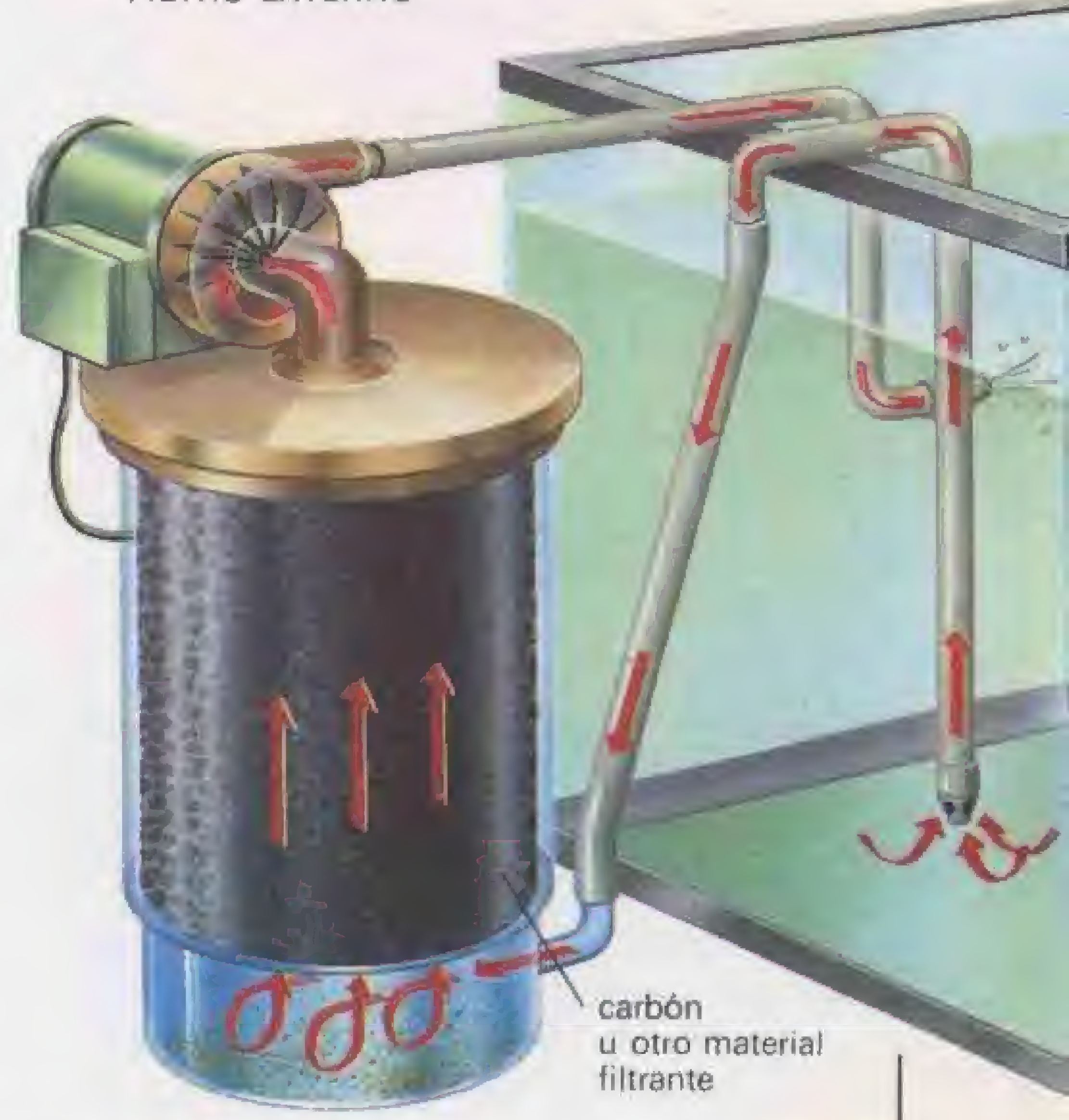
La *luz* es necesaria para el crecimiento de las plantas y —en mayor o menor medida, según las especies— para los peces. Ahora bien, no es conveniente que los rayos solares incidan directamente sobre el recipiente del acuario, ya que pueden elevar la temperatura del agua por encima del nivel de tolerancia de los peces.

En cualquier caso, oxigenación, temperatura e iluminación son elementos vitales y estrechamente dependientes del tipo de fauna y flora, de la dimensión del acuario y de la cantidad de especies animales y vegetales que en él viven.

Para el adecuado cuidado de un acuario es preciso disponer de algunos instrumentos sencillos tales como: termómetro para regular la temperatura del agua; raspador para limpiar la pared del depósito; comedero flotante, constituido por un marco tubular que impide que el alimento se derrame por la superficie del agua; tubo de descarga; pequeño depósito para lavar las plantas y la arena que recubre el fondo del recipiente; redecilla para coger los peces; y aparato con el que se extraen los detritus del fondo.

Véase **Agua; pH, acidez y basicidad**

FILTRO EXTERNO



Acuicultura

La acuicultura podría definirse como un medio de acelerar el crecimiento, y con ello la producción, con fines comerciales, de animales y plantas acuáticos, dulceacuícolas o salobres, en áreas naturales o artificiales.

Englobadas dentro de la acuicultura, se da el nombre de "maricultura" al cultivo de animales en un medio marino, mientras que "piscicultura" tiene un significado más amplio: se aplica a la cría de animales acuáticos, tanto marinos como de agua dulce.

El nacimiento de esta práctica data de muy antiguo. Los japoneses cultivaban ostras ya en el año 2000 a. de C., y los romanos en el año 500 a. de C. Sin embargo, y a pesar de la antigüedad de su práctica, el progreso fue escaso en los siglos siguientes. Ha sido en la última década cuando el desarrollo de los cultivos acuáticos ha alcanzado mayor auge, gracias sobre todo a un mejor y más amplio conocimiento de la biología de los organismos cultivados y a la necesidad cada vez más acuciante de buscar otros modos de aumentar la producción de alimentos.

Entre los países que practican la acuicultura, Japón ocupa desde hace tiempo el primer lugar. Le siguen Estados Unidos, Holanda, Francia, Australia y Gran Bretaña. España va a la cabeza en el cultivo del mejillón, con una producción anual superior a las 220.000 toneladas, siendo el área más productiva la bahía de Vigo.

Los procedimientos empleados varían según la especie a cultivar, aunque se mantienen unos patrones generales. En todos los casos el material ha de ser protegido, en lo posible, de los depredadores, de las enfermedades y de otras especies competitivas que puedan disputarle el espacio y el alimento. Normalmente se le alimenta durante su estancia en el criadero, o bien se le coloca en un lugar donde pueda obtener con facilidad alimento natural.

Para la cría se puede partir de huevos, pero hay especies para las que es necesario obtener las crías nacidas en el mar por reproducción natural. En el primer caso, cuando el animal ha consumido toda la yema de su huevo, atraviesa un período crítico en el que tiene lugar un reajuste fisiológico al cambiar de alimentación. En este período la mortalidad es muy elevada, factor que ha de tener en cuenta el cultivador a la hora de escoger sus especies. En el segundo caso, las crías se capturan en el mar, se depositan en estanques adecuados y se cuidan hasta que alcanzan un tamaño apto para el mercado.

Las especies animales más cultivadas son moluscos (entre ellos, almejas, ostras, mejillones), crustáceos (cangrejos, langostas) y peces (truchas, barbos, carpas, anguilas, salmones, lenguados).

Para el cultivo de las ostras se emplean soportes de naturaleza variable en los que se instalan las "semillas", y donde permanecen hasta el estado de juventud o de madurez según los casos, ya que no siempre las áreas apropiadas para la puesta lo son para el crecimiento, por lo que deben ser trasladadas a otros lugares.

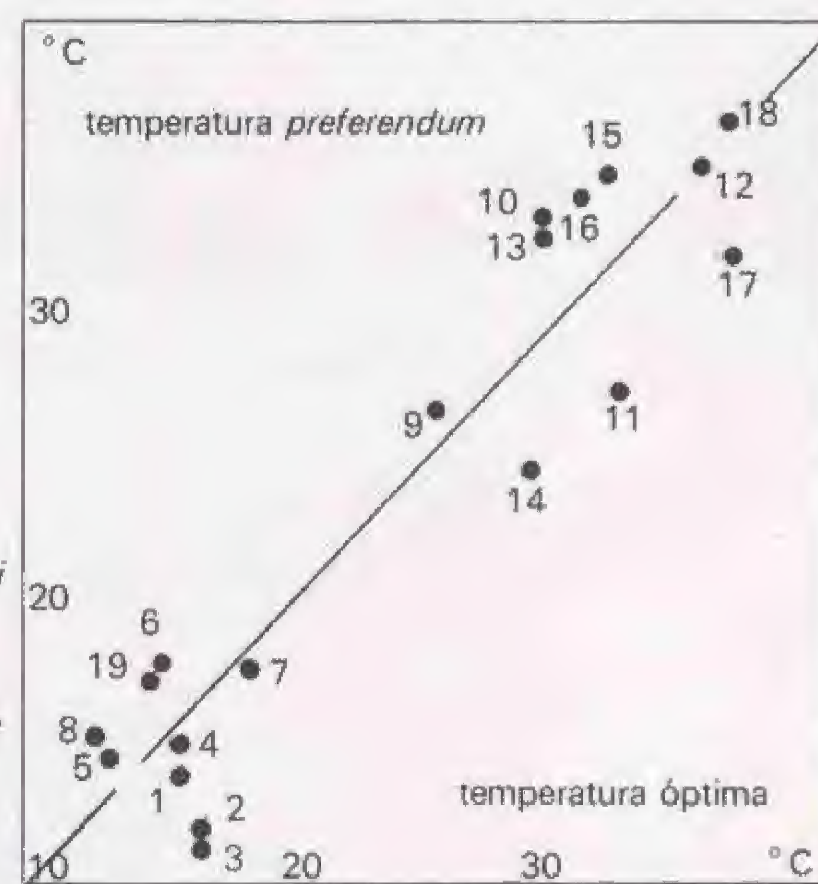
En España se cultiva la especie *Ostrea*

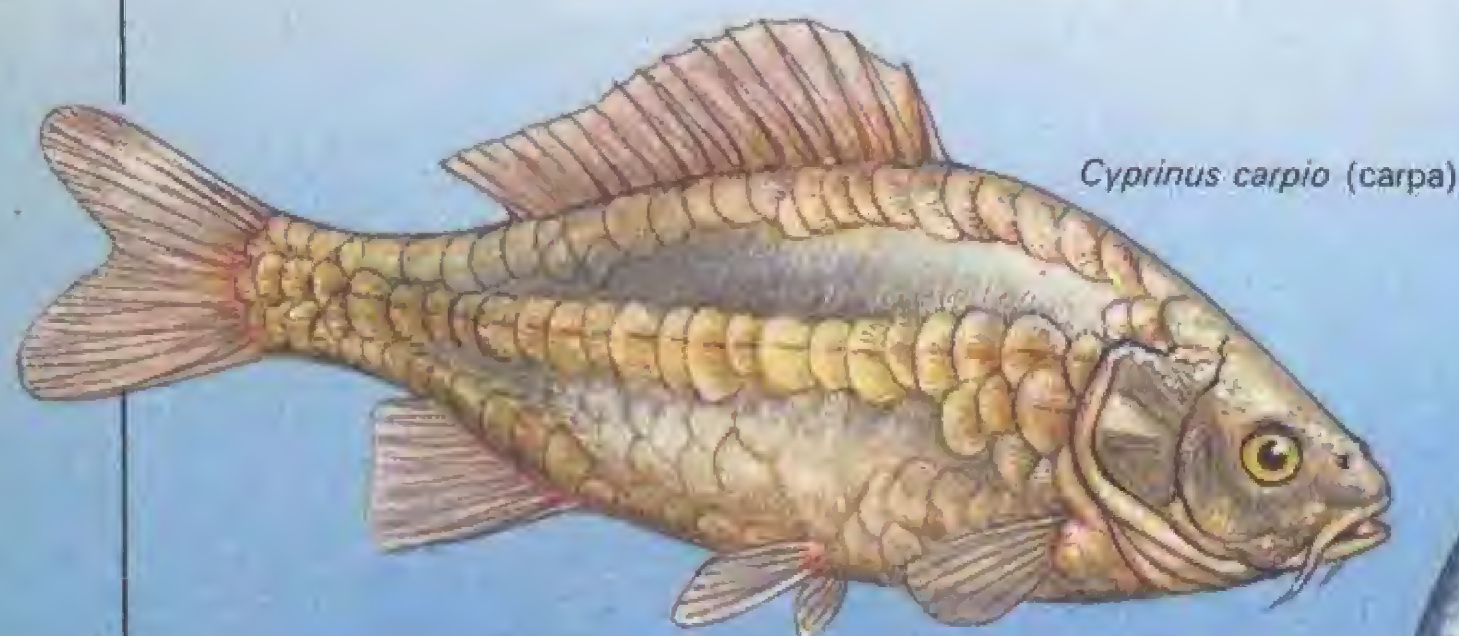


LA ACUICULTURA EN EL MUNDO

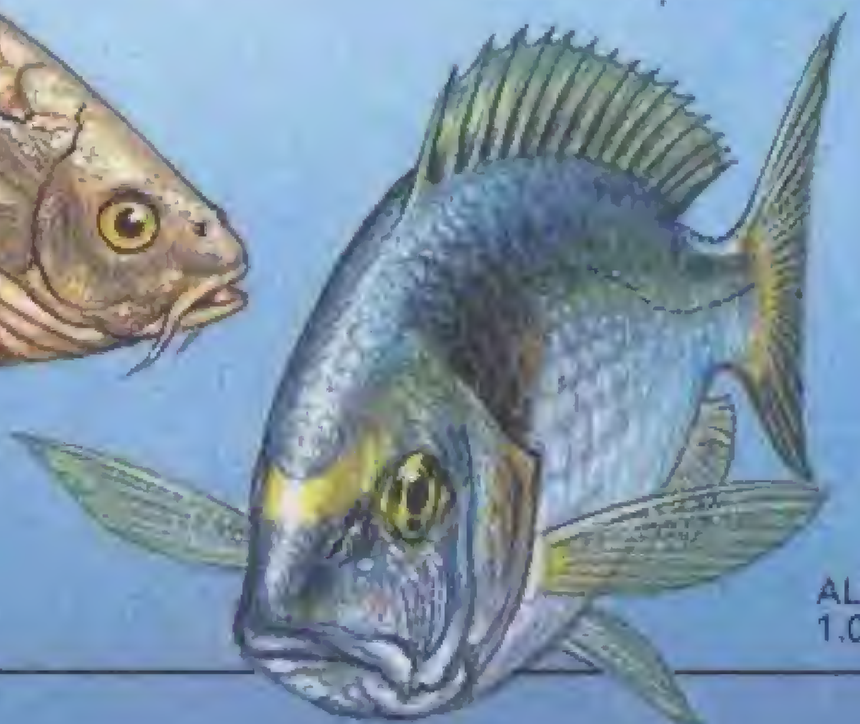
En la crianza de las especies ictiológicas se deben tener en cuenta cuatro temperaturas. Una *temperatura superior* y una *inferior*, por encima y por debajo de las cuales se produce la muerte de los individuos. Otra temperatura en la cual el pez adulto prefiere encontrarse para desplazarse y buscar su alimento, y que se llama *preferendum final*. Finalmente, existe una temperatura en la cual el crecimiento es más rápido y que es necesario respetar para obtener el máximo rendimiento en el crecimiento; esta temperatura, denominada *temperatura óptima*, es tan sólo unos grados más baja que la *preferendum*. En el diagrama de la derecha se aprecia la relación necesaria entre temperatura *preferendum* y temperatura óptima para algunas especies:

1) *Petromyzon marinus*
2) Salmón rosa
3) *Oncorhynchus tshawytscha*
4) *Oncorhynchus nerka*
5) *Oncorhynchus keta*
6) *Salvelinus*
7) *Salmo gairdnerii*
8) *Salmo trutta fario*
9) *Esox lucius*
10) *Carassius auratus*
11) *Catostomus commersonii*
12) *Ictalurus punctatus*
13) *Lebistes reticulatus*
14) *Perca flavescens*
15) *Micropterus salmonoides*
16) *Micropterus spp.*
17) *Solea solea*
18) *Lepomis macrochirus*
19) *Pleuronectes platessa*





Cyprinus carpio (carpa)



Sparus auratus (dorada)

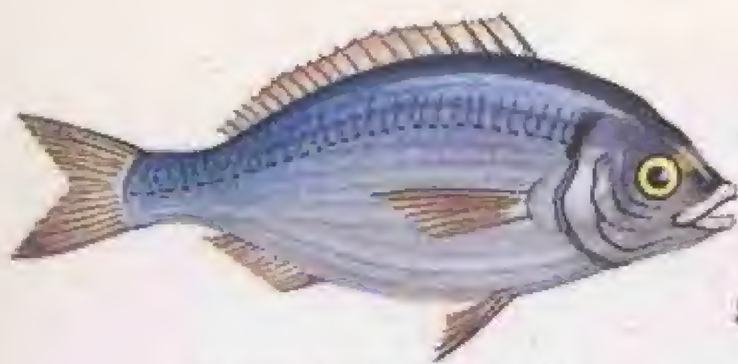


Chondrus crispus (alga de Islandia)

PECES: de agua dulce: 2.780.000 tm/año; de mar: 1.200.000 tm/año

ALGAS 1.055.000 tm/año

PRINCIPALES ESPECIES CULTIVADAS EN AGUA DULCE Y EN AGUA DE MAR


Sparus auratus (dorada)


Anguilla anguilla (anguila)


Scophthalmus maximus (rodaballo)


Salmo salar (salmón)


Crassostrea (ostra portuguesa)


Mugil (mugil)


Solea solea (lenguado)


Tilapia (tilapia)


Pecten maximus (vieira)


Penaeus (langostino)


Salmo gairdnerii (trucha arco iris)


Homarus (bogavante)


Dicentrarchus labrax (lubina)


Cyprinus (carpa)


Epinephalus (mero o cherne)


Ictalurus punctatus (pez gato estriado)


Mytilus edulis (mejillón)

MOLUSCOS
972.000 tm/año

Mytilus edulis (mejillón)

Ostrea edulis (ostra)

CRUSTACEOS 16.000 tm/año

Palinurus vulgaris (langosta)

En el cuadro de arriba se recogen las especies más comunes de los criaderos y, a la izquierda, la producción mundial anual (en toneladas) de las especies más comunes. Cuando se aborda el tema de la acuicultura se discute inmediatamente sobre el potencial que ésta ofrece como método para producir a bajo precio grandes cantidades de alimento para las poblaciones de los países pobres y como complemento en la alimentación de los países desarrollados. Sin embargo, salvo verdaderas excepciones, las especies criadas son aquéllas que ofrecen el producto más buscado y caro, como es el caso de las ostras, los crustáceos y algún tipo muy específico de algas.

edulis (principalmente en las Rías Gallegas), empleando para ello el "método francés", que consiste en clavar en un suelo adecuado tejas encaladas donde se instalan las "semillas". Tiene la ventaja de que resulta fácil desprender a las ostras jóvenes para trasladarlas a otro lugar donde terminarán su crecimiento.

Entre los peces de agua dulce, la especie más cultivada es la trucha, primer pez que fue fecundado artificialmente. Algunas especies de truchas pueden vivir (como es el caso de *Salmo gairdnerii*), en su fase adulta, en aguas de salinidad tan alta como la del mar, con la ventaja de que están menos expuestas a las enfermedades y presentan un crecimiento más rápido. Por este motivo las granjas de cultivo se suelen situar allí donde hay un abastecimiento abundante de agua dulce a la vez que una fuente próxima de agua salobre.

Distinto es el caso de la anguila (*Anguilla anguilla*), ya que, al no haberse logrado que se reproduzca en cautividad, las primeras fases del cultivo han de obtenerse de la naturaleza, por lo cual no se puede hablar de cultivo en sentido estricto. Las anguilas adultas desovan en mar abierto. Cuando las crías alcanzan el estado juvenil, buscan el agua dulce y suben corriente arriba, donde son capturadas. Se las coloca entonces en estanques donde permanecen casi un año, hasta que alcanzan un peso de unos 150 gramos.

Entre los vegetales, las *algas* marinas son las que han merecido especial atención hasta ahora, debido a su alto contenido en sales minerales y vitaminas. Se cultivan

Salmo gairdnerii (trucha arco iris)

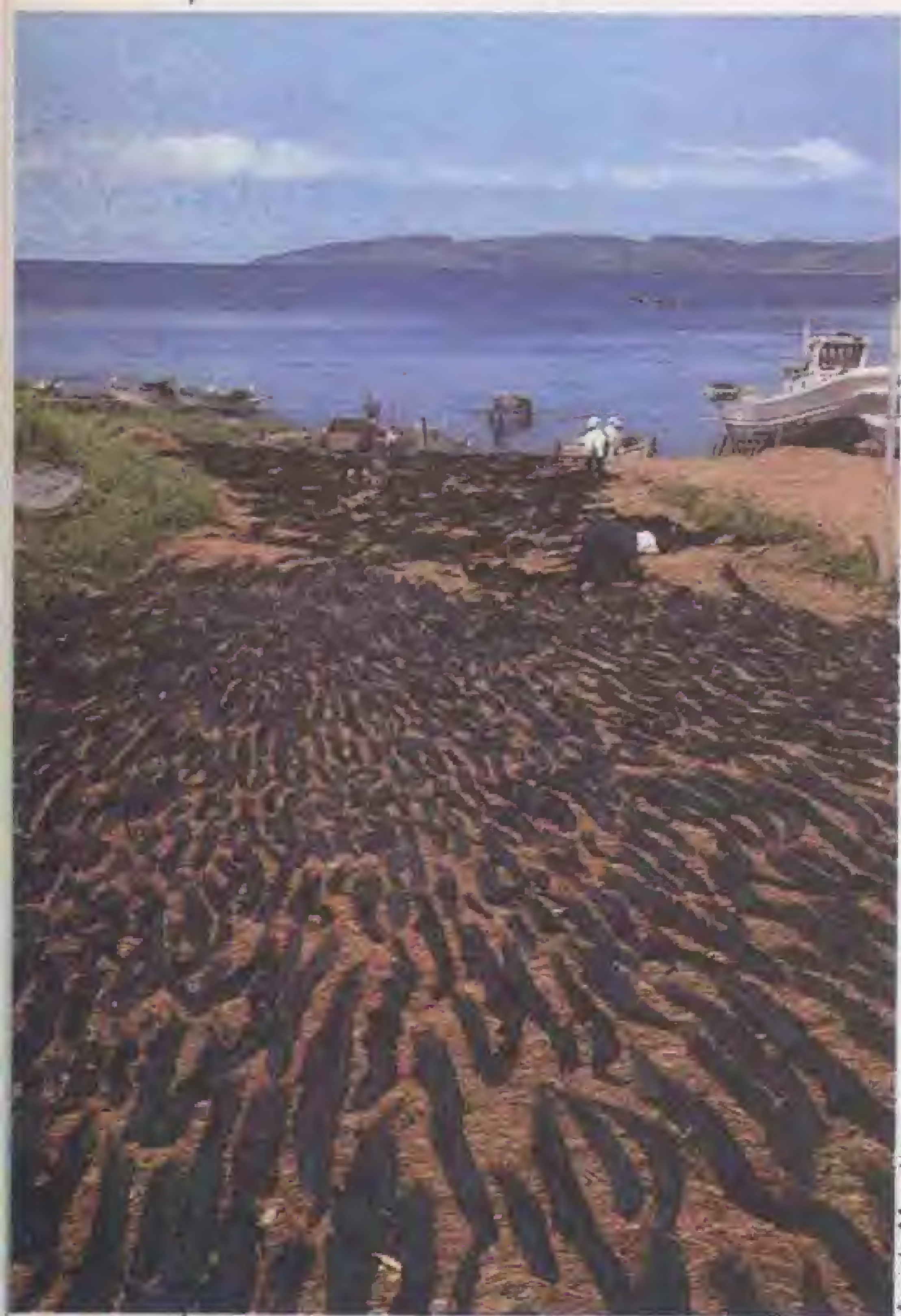


Originaria de Norteamérica, esta trucha se presta muy bien para su cultivo en agua dulce.

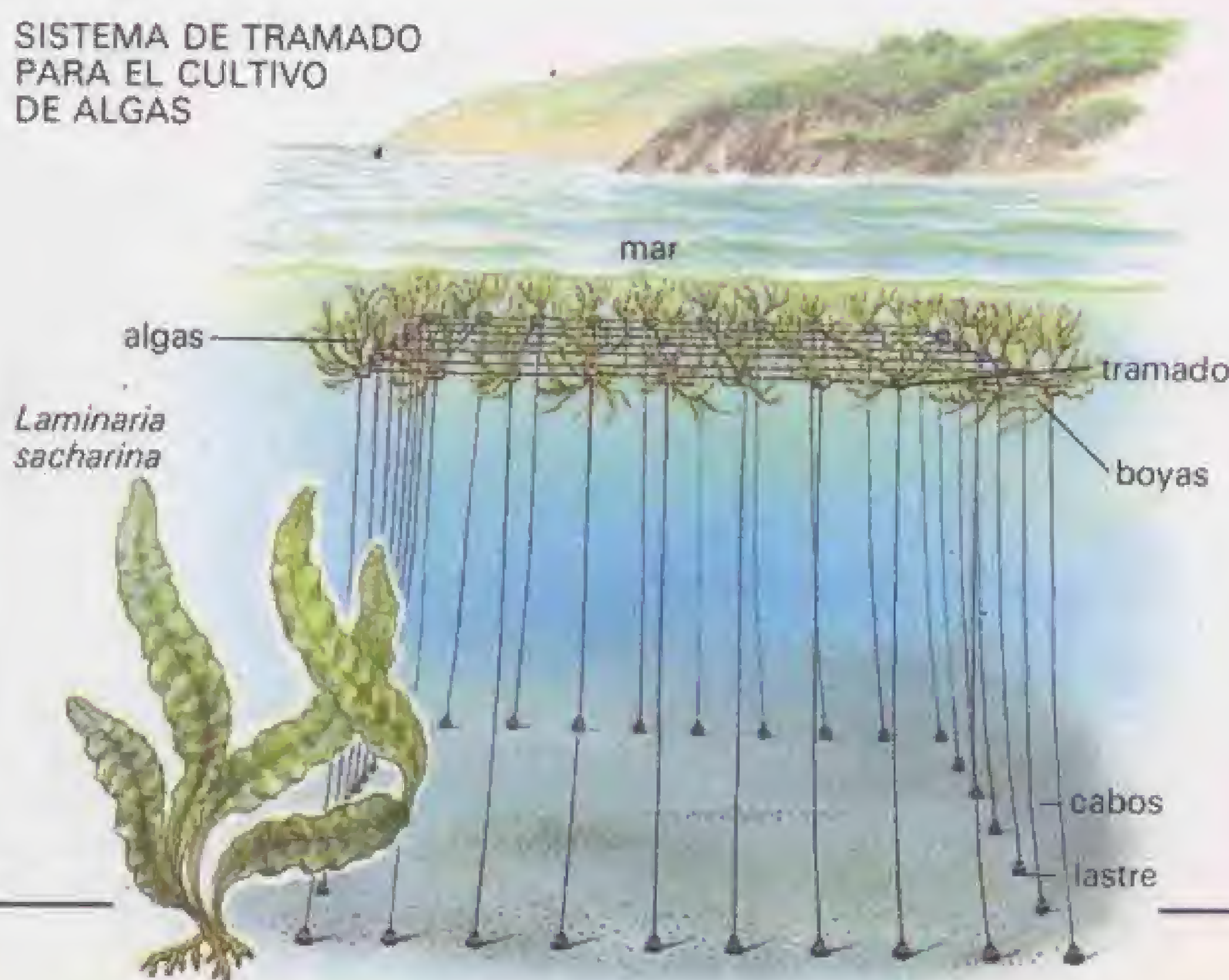


Magagnoli/Archivo Fabbri





Angela Macaluso



A la izquierda, esquema de tramados para el cultivo de algas y un método típico para su desecación, sobre la playa de las islas de Rebun y Hokkaido, Japón. Arriba, recipientes para el cultivo de algas en el centro de Vairao en Polinesia. El cultivo de algas en recipiente es posible sólo a base de una intensa radiación solar. La dificultad más importante que existe es la de obtener sólo las especies deseadas y eliminar las parásitas, que proliferan fácilmente y compiten con las útiles o beneficiosas.





sobre todo en Japón, donde constituyen una parte importante de la dieta humana. Casi todas pertenecen a la especie *Porphyra tenera*, del grupo de las algas rojas (conocidas como "nori"). El método empleado en la actualidad consiste en clavar filas de palos de bambú, entre los cuales se extienden redes que van paralelas a la superficie del agua. Las esporas del alga quedan atrapadas en la red y comienzan a desarrollarse. Una vez que alcanzan el tamaño adecuado se recogen y se dejan secar, prensándose después y quedando listas para la venta. El "nori" así obtenido es muy rico en vitamina A, de la que posee un contenido cincuenta veces superior al del mismo peso del huevo de gallina.

Se piensa también en la posibilidad de cultivar el *plancton*, conjunto de microorganismos animales y vegetales que viven en el agua y de los que se alimentan muchas especies animales. El contenido proteínico de algunos grupos, como los copépodos, oscila alrededor del 70%, lo cual sugiere que podrían cultivarse para alimento de peces, moluscos e incluso del hombre.

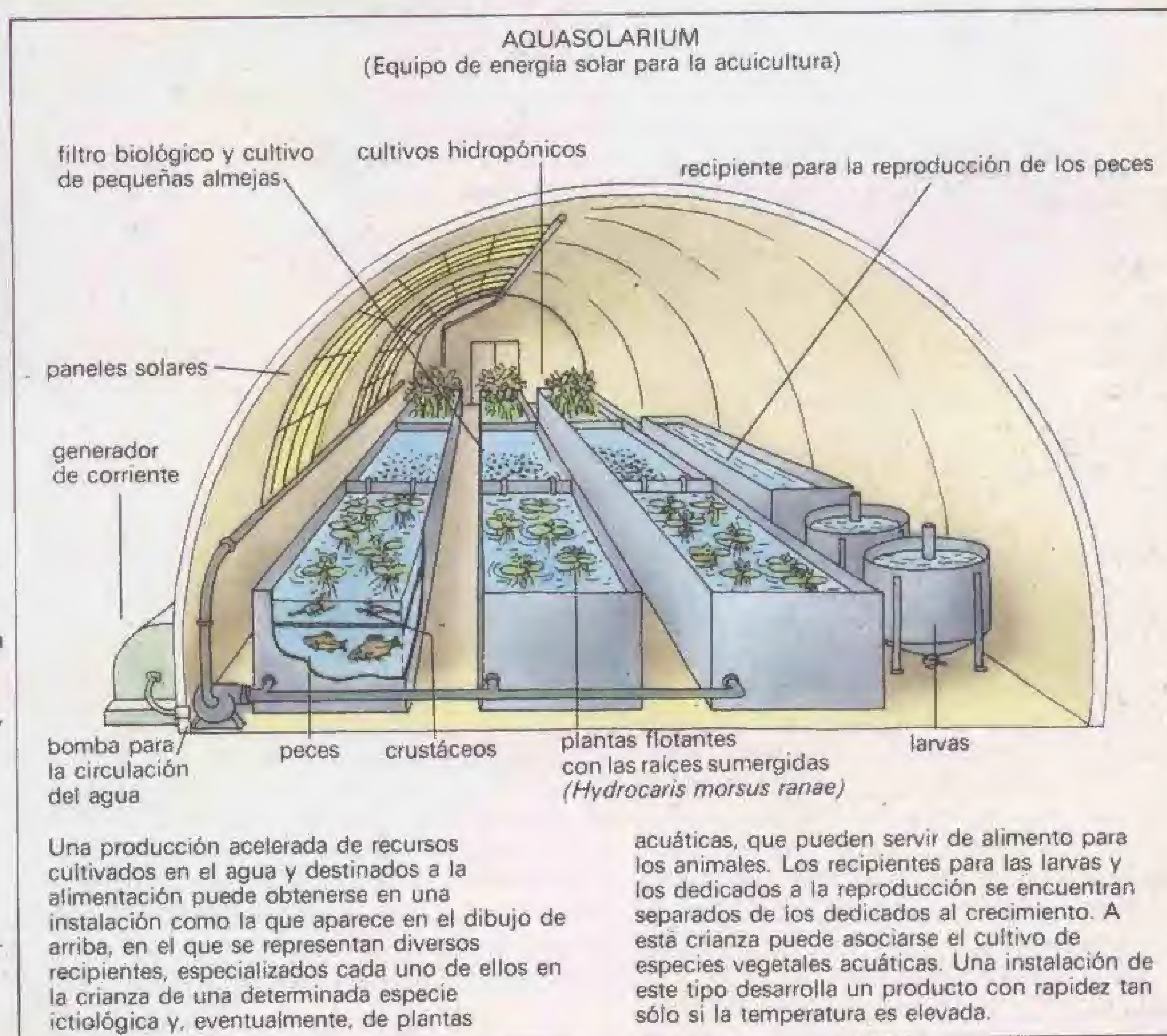
Se prevé también el equipamiento de atolones que se convertirían en verdaderas factorías de algas y mariscos. La energía para mantenerlas provendría de paneles solares y de centrales mareomotrices.

La acuicultura constituirá, por tanto, y en un futuro no muy lejano, una industria importante, que deberá contemplarse en su propia dimensión, no tanto como "la solución" a la escasez mundial de alimentos sino como otra fuente alimenticia más.

Véase **Alimentos; Biología marina**







Una producción acelerada de recursos cultivados en el agua y destinados a la alimentación puede obtenerse en una instalación como la que aparece en el dibujo de arriba, en el que se representan diversos recipientes, especializados cada uno de ellos en la crianza de una determinada especie ictiológica y, eventualmente, de plantas acuáticas, que pueden servir de alimento para los animales. Los recipientes para las larvas y los dedicados a la reproducción se encuentran separados de los dedicados al crecimiento. A esta crianza puede asociarse el cultivo de especies vegetales acuáticas. Una instalación de este tipo desarrolla un producto con rapidez tan sólo si la temperatura es elevada.

La crianza de la trucha común y de la arco iris está muy difundida. Es necesaria agua muy pura y a baja temperatura, por debajo de los 20°C.

Arriba, a la izquierda, recipientes para la crianza, en los cuales se separa a los peces por edad y, por consiguiente, por talla. En el centro, mulsión u "ordeño" de las truchas así se obtienen los huevos que se colocarán en pequeños recipientes y cuya eclosión deberá vigilarse con particular cuidado. A la derecha, la ampliación fotográfica muestra crías con el saco vitelino al lado de los huevos abortados, que en la figura tienen el aspecto de pelotitas blancas. Debajo, un langostino macho de criadero, destinado a crecer ulteriormente antes de convertirse en alimento del hombre. En esta especie el macho se distingue por la longitud de las lancetas.

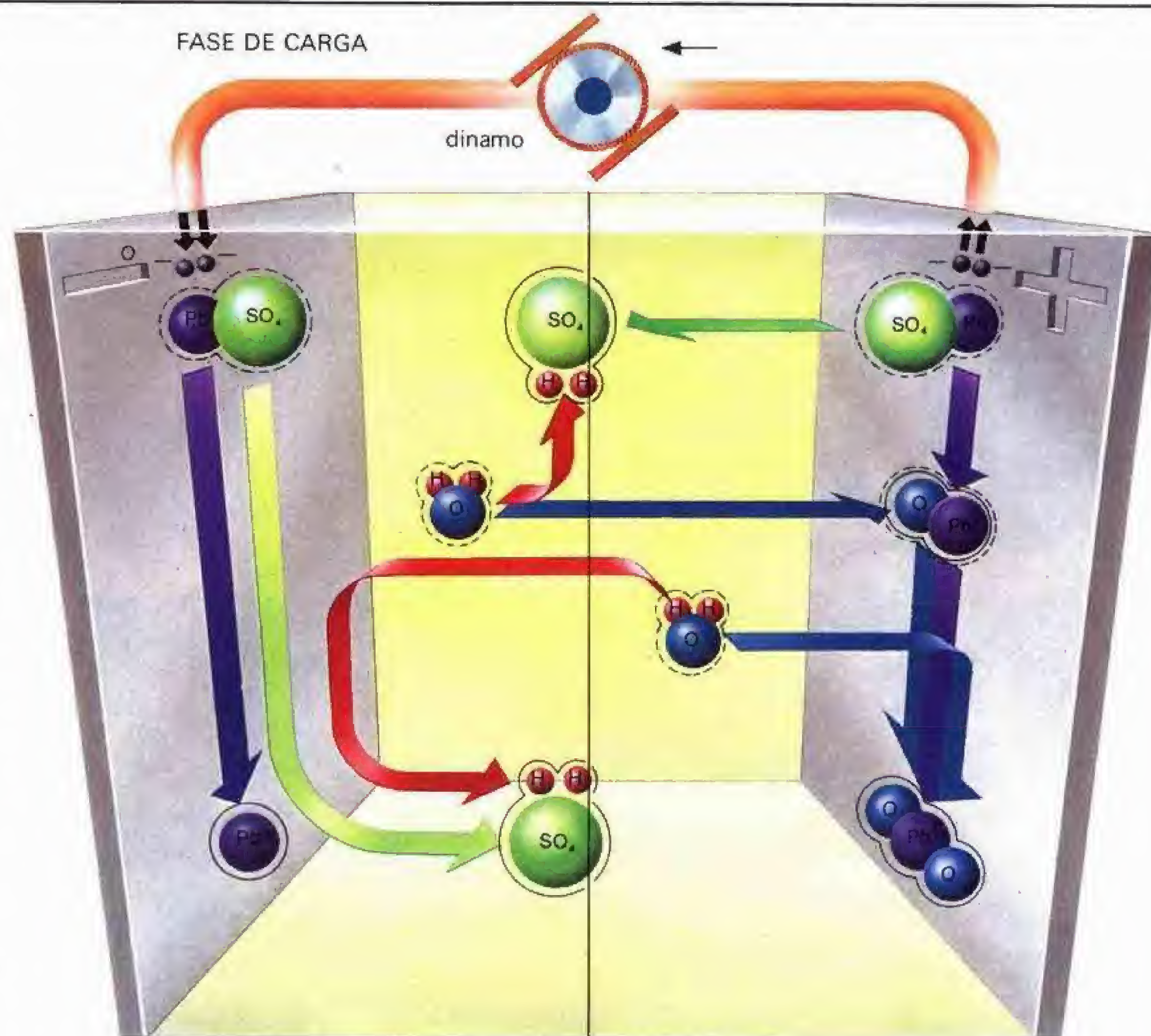
Acumulador

El tipo de acumulador que se utiliza normalmente para alimentar la instalación eléctrica de un automóvil es el denominado *acumulador de plomo*, inventado por el físico Gaston Planté en 1859 y continuamente perfeccionado para aumentar su rendimiento, prestaciones y duración. Se compone de dos o más placas, una positiva y otra negativa, sumergidas en una solución electrolítica de ácido sulfúrico en agua destilada (H_2SO_4). El material activo de la placa positiva está constituido por dióxido de plomo (PbO_2), y el de la placa negativa exclusivamente por plomo puro esponjoso (Pb). A causa de la acción química que la solución electrolítica desarrolla en los contactos de material activo se genera una corriente eléctrica. De esta manera, cuando accionamos la llave de la puesta en marcha de nuestro automóvil, no hacemos otra cosa que cerrar el circuito eléctrico que conecta el borne positivo y el borne negativo de la batería, obteniéndose un paso de corriente que acciona un motor de arranque eléctrico, el cual se pone en rotación haciendo girar igualmente el cigüeñal conectado a los émbolos del motor de combustión; en consecuencia, el vehículo se pone en marcha.

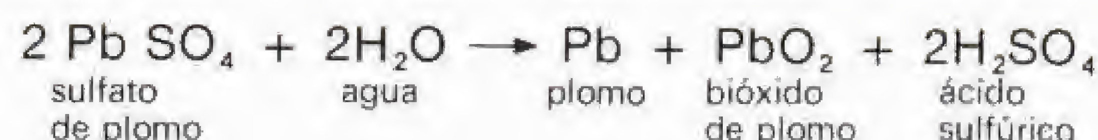
En resumen, con estas operaciones se logra transformar una parte de la *energía química* almacenada en la batería, primero en *energía eléctrica*, y posteriormente en *energía mecánica*.

Un fenómeno parecido se produce cuando se acciona el interruptor de los innumerables aparatos existentes que están alimentados por pilas o baterías. Cuando se agota la capacidad de una pila para suministrar energía eléctrica se desecha y se sustituye por otra nueva. Este tipo de pilas no recargables se llaman *baterías primarias*. Sin embargo, existen otros tipos de baterías que sí son recargables, de forma que, suministrándoles energía eléctrica es posible provocar, en sentido inverso, la sucesión de las reacciones químicas que intervienen en la fase de descarga. Estas baterías se llaman *secundarias*, o más corrientemente *acumuladores*. El tipo más difundido es el acumulador de plomo, que acabamos de ver, que equipa prácticamente todos los automóviles, y que además se emplea para la tracción de vehículos especiales, en submarinos, ferrocarriles, instalaciones fijas industriales, instalaciones telefónicas y de emergencia, etcétera.

Los elementos de un acumulador Las placas eléctricas de un acumulador de plomo están constituidas por rejillas sobre las que se depositan los materiales activos (electrodos negativos y electrodos positivos). Entre cada pareja de placas se interpone un separador, inalterable por el ácido, que impide el contacto, y todo el sistema se sumerge, como hemos visto, en el electrolito, solución de ácido sulfúrico en agua destilada (el agua del grifo no es apta ya que contiene sales en disolución que pueden interferir en los procesos electroquímicos que tienen lugar en la batería).



reacción completa



$$2\,PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4$$

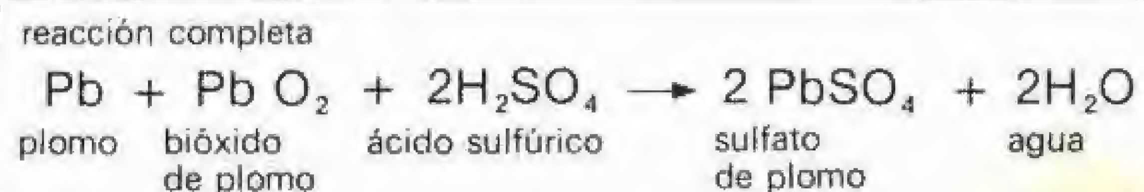
sulfato de plomo — agua — plomo — bióxido de plomo — ácido sulfúrico

Los elementos están conectados en serie mediante unas varillas de aleación de plomo. Todo el conjunto está montado en un recipiente o caja de ebonita, recipiente que no puede ser metálico, pues sería atacado por la solución electrolítica.

Fase de descarga Cuando la batería está en fase de descarga —lo que sucede cada vez que ponemos en marcha el motor del automóvil— una parte de los átomos de plomo del electrodo negativo se combinan con los iones SO_4^{--} formando una sal, el sulfato de plomo $PbSO_4$, perdiendo además dos electrones que quedan a disposición del electrodo. Al mismo tiempo, en el electrodo positivo, el bióxido de plomo, PbO_2, reacciona con los iones H_2 y SO_4^{--} formando otra vez sulfato de plomo ($PbSO_4$) y agua (H_2O), restando al mismo tiempo dos electrones al electrodo. En la práctica, del electrodo positivo (+) se están separando continuamente electrones que se restituyen con los electrones liberados por el electrodo negativo (-). Tenemos así una circulación de corriente eléctrica en el circuito externo que conecta los dos bornes de la batería. Al mismo tiempo, los materiales que componen los electrodos se consumen transformándose ambos en sulfato de plomo, mientras disminuye paralelamente la concentración de ácido sulfúrico.

Fase de carga Cuando el motor del

El funcionamiento de un acumulador de plomo se basa en el principio de que el plomo y el bióxido de plomo, dispuestos sobre dos placas sumergidas en ácido sulfúrico, reaccionan con éste y proporcionan cargas eléctricas (electrones) que pueden circular en un circuito exterior. Esto es lo que sucede en la fase de *descarga*. Conectando las dos placas se producen las siguientes transformaciones: en la placa negativa el plomo pierde dos electrones, formando el ion Pb^{++} que reacciona con el ion sulfato (que procede de la disociación del ácido sulfúrico) formando sulfato de plomo; en la placa positiva, el bióxido de plomo, adquiriendo dos electrones, se transforma primero en un monóxido y, a continuación, reacciona con el ion sulfato, formando el sulfato de plomo. Al mismo tiempo, los cuatro iones de hidrógeno, liberados por el ácido sulfúrico, y los dos átomos de oxígeno, perdidos por el bióxido de plomo, forman dos moléculas de agua. Cuando todo el ácido sulfúrico de la solución se ha consumido para formar el sulfato, el acumulador se ha «descargado» y no puede producir más corriente eléctrica. Sin embargo, en estas condiciones puede ser *recargado*. Efectivamente, si hacemos pasar corriente en el sentido opuesto al de la descarga, el sulfato de plomo se descompone, volviéndose a combinar con el agua, formando nuevamente ácido sulfúrico y plomo en la placa negativa y bióxido de plomo en la positiva. Provocando el paso de la corriente, el ion de plomo del sulfato adquiere dos electrones, transformándose en plomo metálico. En la placa positiva, el plomo del sulfato, después de ser transformado en monóxido (combinándose con el oxígeno que se produce en la disociación de una molécula de agua), pierde dos electrones y se combina con un segundo oxígeno


reacción completa

$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2\,PbSO_4 + 2H_2O$

plomo — bióxido de plomo — ácido sulfúrico — sulfato de plomo — agua

FASE DE DESCARGA

circuito de utilización

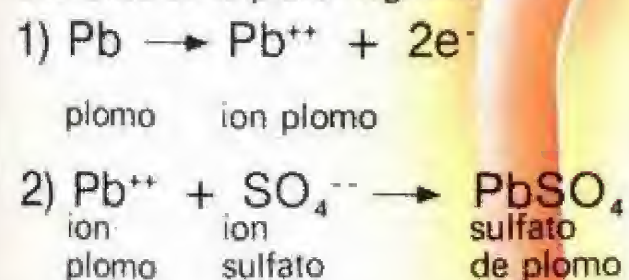

reacciones en la placa positiva

1) $PbO_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow PbO + H_2O$

bióxido de plomo — iones de hidrógeno — electrones — monóxido de plomo — agua

2) $PbO + 2H^+ + SO_4^{--} \rightarrow PbSO_4 + H_2O$

monóxido de plomo — iones de hidrógeno — ion sulfato — sulfato de plomo — agua


reacciones en la placa negativa

1) $Pb \rightarrow Pb^{++} + 2e^-$

plomo — ion plomo

2) $Pb^{++} + SO_4^{--} \rightarrow PbSO_4$

ion plomo — ion sulfato — sulfato de plomo

de una segunda molécula de agua para formar bióxido de plomo. Al mismo tiempo, los cuatro iones de hidrógeno que resultan de la disociación de las dos moléculas de agua se combinan con los dos radicales de sulfato, liberados por las dos placas, formando ácido sulfúrico.



automóvil está en marcha, empieza a funcionar un generador de corriente (dinamo o alternador) que, además de suministrar la energía eléctrica necesaria al sistema de encendido (distribuidor y bujías), tiene la misión de recargar la batería. Es decir, que proporciona la energía eléctrica necesaria para que las reacciones que se desarrollaron en la fase de descarga tengan ahora lugar en sentido inverso. Para tal fin, en la batería se hace circular una corriente eléctrica en sentido opuesto a la que se generó en la fase de descarga. De esta forma, en el electrodo negativo, el plomo combinado en el $PbSO_4$ recupera dos electrones volviendo a ser plomo metálico, mientras que, en el electrodo positivo el plomo combinado en el $PbSO_4$ cede los dos electrones que antes adquirió, volviéndose a combinar con el oxígeno del agua para formar otra vez PbO_2.

Una batería capaz de suministrar una tensión de 12 voltios está formada por elementos recubiertos con material resistente al ácido. Normalmente este material está constituido por una mezcla bituminosa que permanece en estado sólido incluso a temperaturas elevadas. Para que en la fase de carga la corriente pueda circular efectivamente a través de la batería, debe ser suministrada a una tensión superior a la nominal del acumulador (que como hemos visto es de 12 voltios). En estas condiciones una parte de las moléculas del agua del electrolito está sometida a una disociación con obtención de hidrógeno y oxígeno gaseosos. Existe, por lo tanto, un consumo de agua constante, por lo que periódicamente hay que añadir agua para mantener el nivel óptimo de funcionamiento. El agua destilada debe ser añadida con la batería en reposo y fría (20 °C) hasta rebasar los separadores en unos 3 mm.

Influencia de la temperatura La temperatura influye sensiblemente en la capacidad de suministro de corriente eléctrica, de tal forma que, si aquélla baja, el rendimiento de la batería disminuye. La pérdida de capacidad se puede evaluar alrededor del 1,1% por cada grado de disminución de la temperatura. En la práctica, cuando se pasa de 30 °C a -15 °C la capacidad de suministro de corriente eléctrica de la batería se reduce a la mitad.

Distintos tipos de acumuladores El acumulador más difundido actualmente es el de plomo, descrito anteriormente; sin embargo, existen otros tipos, alguno de los cuales se emplea para fines especiales y otros están todavía en fase de estudio y se emplean en productos experimentales. Hay un acumulador de níquel-cadmio, por ejemplo, que se utiliza cuando la potencia requerida es mediana o pequeña. Este tiene dos importantes ventajas: primera, es de tipo *seco*, es decir que no contiene líquidos (el de plomo hay que rellenarlo con ácido sulfúrico y agua); y segunda, se puede mantener bajo tensión cuando está completamente cargado sin que se averíe. Por esta razón se utiliza mucho en los grupos de continuidad, que son las baterías de acumuladores que están constantemente bajo la tensión de la línea que alimenta un ordenador electrónico. Sirven para intervenir y sustituir la fuente de alimentación de la línea cuando falta la corriente eléctrica y aseguran el funcionamiento continuo del ordenador, ya que si a éste le falta la corriente su función se detiene, con el grave riesgo de perder datos no almacenados aún en su memoria. El mismo tipo de acumulador se utiliza para alimentar calculadoras pequeñas, intermitentes electrónicos, televisores portátiles y otros sistemas. Tiene el inconveniente de ser un poco más costoso que el acumulador de plomo, lo que limita su utilización.

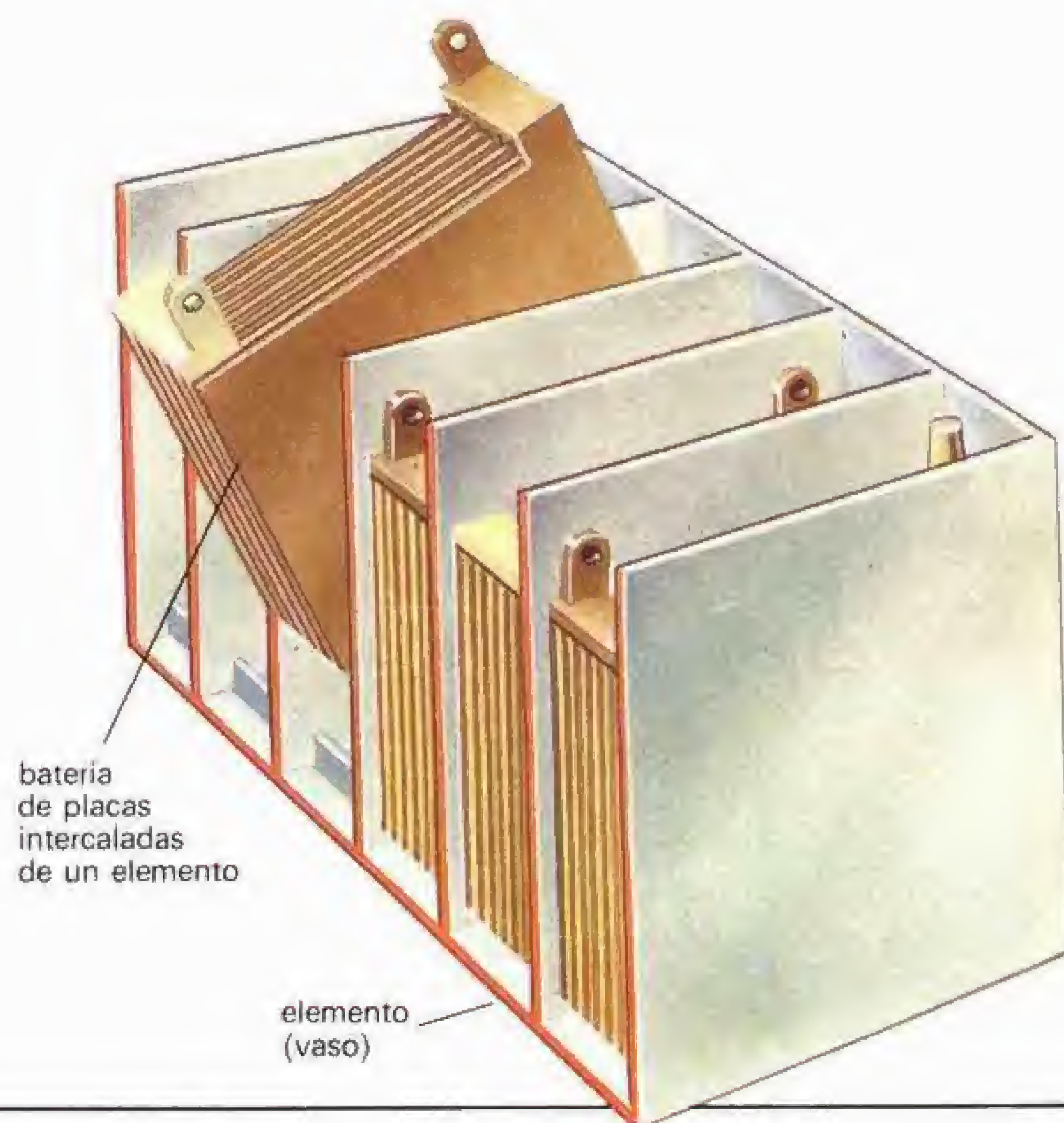
Un inconveniente del acumulador de plomo es su peso. Instalado en trenes y barcos esto no entraña problema; por ello los submarinos no nucleares usan acumuladores de plomo para la navegación cuando están sumergidos a profundidades superiores a las que permiten la toma de aire de superficie (*schnorkel*). Sin embargo, cuando son utilizados en automóviles eléctricos, tienen además el inconveniente de que deben ser recargados durante la noche, ya que en una jornada de funcionamiento se descargan completamente. El acumulador de plomo no permite su descarga total.

En la actualidad se está investigando con otros tipos de acumuladores que permitan superar estos inconvenientes. Se han propuesto distintos esquemas de reacciones para estos dispositivos; sin embargo, los más prometedores funcionan a una temperatura de algunos cientos de grados centígrados, lo que es rentable económicamente sólo en instalaciones de grandes dimensiones y en condiciones de funcionamiento constante y no de forma intermitente, como sucede en los automóviles.

Véase **Automóvil, encendido del; Electroquímica; Pila galvánica.**



A. G. E.



borne negativo

orificio para la introducción del agua destilada

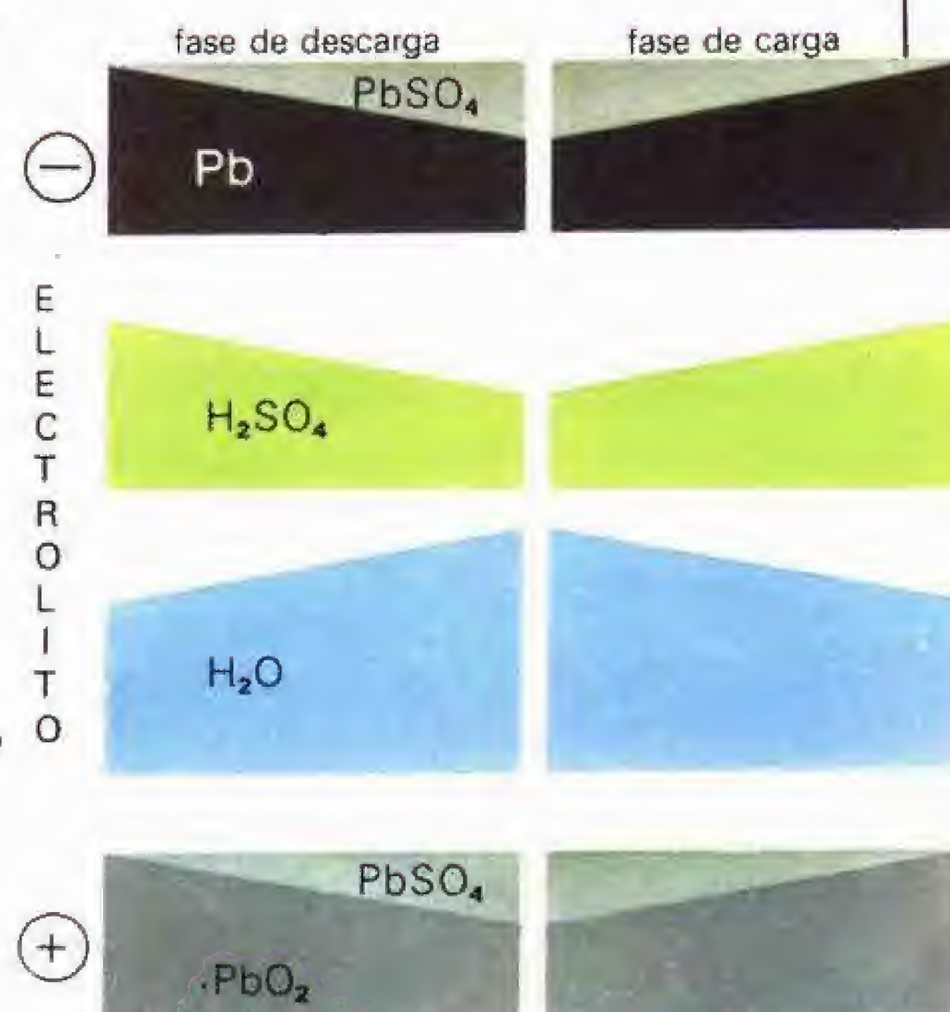
borne positivo

caja de material plástico

grupo de placas negativas de plomo

grupo de placas positivas de bióxido de plomo

separadores porosos de las placas



En un acumulador de plomo, el bióxido de plomo y el sulfato deben moverse libremente, disolviéndose de las placas o bien volviéndose a depositar en éstas: en la página anterior se ve cómo se ha conseguido una gran superficie de placas encarando las unas con las otras; son como peines encastrados los unos en los otros, sin tocarse, y colocados en alojamientos —vasos— especiales del contenedor en forma de paralelepípedo. Esta subdivisión en grupos de elementos permite que estos se queden en su posición, a pesar de las vibraciones producidas por la marcha del automóvil. En la foto, carga de una batería.

La disposición de los grupos de placas (figura superior) se efectúa de tal forma que sea sencilla la conexión de los electrodos por medio de un puente de unión, necesario para poder disponer en los dos bornes de plomo de la tensión útil del vehículo, 6 ó 12 voltios. Unas adecuadas pestañas de las placas sirven para sujetarlas en sus alojamientos. El electrolito, una solución de ácido sulfúrico, debe recubrir las placas completamente. El plomo y sus óxidos, además del sulfato, no deben formar una capa fina en la superficie de las placas, sino un grueso recubrimiento muy poroso. Durante la carga y la descarga la densidad del electrolito varía, porque la cantidad de ácido sulfúrico en la solución aumenta (en la carga) o disminuye (en la descarga) haciéndola variar entre una densidad de alrededor de 1,25 a otra ligeramente superior a la del agua en el caso de la máxima descarga.

Los cuatro diagramas a la derecha muestran cómo, durante la carga y descarga, varían las densidades y los porcentajes relativos de plomo, óxido de plomo, agua y ácido en las placas positiva y negativa, y en el electrolito.

Es interesante recordar que el rendimiento de las baterías de plomo es tanto mayor cuanto más alta es la temperatura —sin embargo ésta no debe sobrepasar demasiado la temperatura ambiente— y, sobre todo, cuanto más lenta es la carga y descarga.

Acústica

La acústica es la ciencia que estudia la naturaleza del sonido, su forma de propagarse, los fenómenos que lo producen, cómo se escucha y cómo se absorbe.

Presión del aire, ruido y sonido Una botella de agua con gas, o de vino espumoso, contiene líquido y, sobre él, gas a presión, generalmente dióxido de carbono. Si se destapa bruscamente, el gas a presión sale al exterior, empujando y desplazando el aire que le rodea. Si sale a gran velocidad, no tiene tiempo suficiente para desplazarlo totalmente, y comprime el aire circundante. En un instante, alrededor del cuello de la botella hay aire comprimido. Tratando de escapar en todas direcciones, la presión ha creado alrededor del cuello de la botella una zona comprimida de forma esférica. El aire comprimido de esta esfera trata de escapar empujando al que la rodea, y así sucesivamente. Al mismo tiempo el gas de la botella ha salido y ha apartado el aire necesario para hacerse espacio. No sucede nada más, excepto que la esfera de aire comprimido continúa expandiéndose. El aire no se desplaza en esta esfera: se propaga la compresión.

Si en el transcurso de la propagación la onda de presión se encuentra con un oído humano, éste oirá un ruido, un seco "boom". Después, vuelve el silencio.

Por el contrario, si pellizcamos una cuerda de guitarra, observamos que vibra. En los dos extremos donde se fija a la madera está quieta, pero, en el centro se mueve, alternativa y velozmente, hacia adelante y hacia atrás perpendicularmente a su longitud. Cada vez que se desplaza de un extremo al otro, da un golpe violento al aire que la rodea, igual que ocurría, como hemos visto, en el caso de la botella destapada: ahora bien, mientras que en aquel caso la compresión ocurría de una sola vez; en el caso de la cuerda de la guitarra, ésta da muchos golpes al aire y su sucesión genera una serie de ondas a presión. Si éstas llegan a un oído humano, éste oirá un sonido: una nota bien definida, dependiendo de la cuerda que hayamos tocado y de que esté afinada la guitarra. Así pues, ruido y sonido están generados por la transmisión a través del aire de una variación repentina de la presión. Los dos son fenómenos acústicos pero, mientras el sonido se origina por un cambio periódico y ordenado de la presión, el ruido se produce por un cambio desordenado.

El diagrama de presión y las características del sonido Hasta ahora hemos intentado construir una imagen intuitiva del fenómeno sonoro. Es posible precisar los conceptos intuitivos por medio tanto de instrumentos simples como de otros muy complejos que nos ofrece la técnica moderna.

El micrófono de carbón (muchos micrófonos de teléfono son todavía de este tipo) es uno de los instrumentos que transforman las rápidas variaciones de presión del aire en una corriente eléctrica variable. Cuando se habla dirigiendo la voz hacia la membrana, uniendo la bobina a una pila o a otro generador, se obtiene una tensión (o una corriente eléctrica) variable. Se puede ahora analizar de diversas formas el diagrama de la variación de la tensión en el tiempo. Una de ellas es por medio del osciloscopio. La imagen que proporciona este instrumento representa la variación de la presión con el paso de la onda sonora.

Por esto, al hablar de sonido en acústica casi siempre nos referimos a un *diagrama de presión*, que puede ser dibujado en la forma descrita. En cierto sentido, el diagrama de presión sirve para "ver" el sonido. Permite comprender inmediatamente la diferencia entre sonido y ruido. El sonido tiene un diagrama de presión constituido por una curva regular, periódica, como por ejemplo una sinusoide o cualquier otra similar. Un ruido está formado por un solo impulso de presión o por una sucesión desordenada de impulsos. Como la mayor parte de los sonidos tienen un diagrama de presión que está formado por una curva periódica parecida a la sinusoide, se suele comparar las ondas de presión sonora con las olas del mar. Estas últimas tienen una forma que de hecho se parece a la de la sinusoide cuando el mar no está "picado" aunque la verdadera forma de las olas es la de la otra curva. Por ello haremos uso de esa comparación de las olas del mar sólo con el fin de ilustrar algunas analogías con la forma del diagrama de presión sonora.

Si al paso de la onda sonora la variación, periódica o no, de la presión es grande, el diagrama de presión describirá una curva que baja y sube mucho con respecto al valor medio de la presión. El oído oye un ruido fuerte: por ello una característica del sonido indicada por la amplitud vertical de la curva de presión sonora es la *intensidad*. Un sonido o ruido débil darán lugar a un diagrama casi plano.

En un segundo pueden pasar pocas o muchas ondas. En el primer caso, el diagrama estará constituido por ondas largas y espaciadas; en el segundo, cortas y frecuentes. El oído oye en el primer caso una nota baja; en el segundo, una aguda, también llamada alta.

Este espaciamiento entre las ondas define el *tono*, que es la segunda característica, muy importante y un poco más sutil, que la también fundamental de la intensidad.

No es necesario ser experto para oír una misma nota tocada en un saxofón o en una guitarra y adivinar, sin verlos, de cuál de los dos instrumentos proviene. Sin embargo, la intensidad puede ser la misma y el tono también, puesto que se trata de la misma nota. La característica que diferencia los dos sonidos es el *timbre*. En el diagrama de presión las dos notas están representadas por dos curvas que tienen el mismo período (esto es, el mismo número de ondulaciones por centímetro), la misma amplitud (están dibujadas dentro de un mismo rectángulo horizontal), pero tienen forma diferente. De las dos, la del saxofón es más parecida a una sinusoide. Una pequeña variación en la forma de la curva del diagrama de presión indica que se trata de sonidos con timbre diferente.



Un golpe al primero de estos "tentetiesos" comunica su movimiento al segundo, y éste al siguiente, y así sucesivamente, pero todos vuelven a su posición primitiva: las moléculas de aire se comportan del mismo modo cuando propagan la onda sonora.

La oscilación de un brazo de diapasón comprime y dilata alternativamente el aire, creando una onda sonora; en una campana de vidrio en la que se ha hecho el vacío la vibración no produce sonido ya que falta el aire.

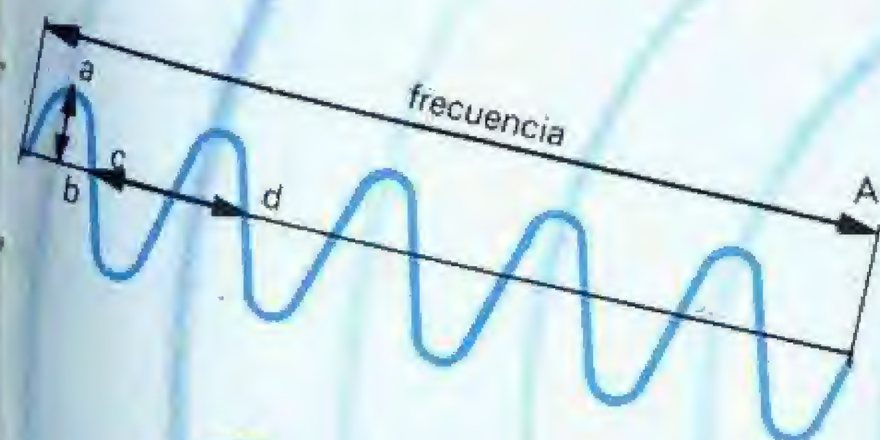


La escala de intensidad sonora Si se hace sonar en un altavoz de un potente equipo de alta fidelidad una nota muy grave y se coloca delante de él un folio de papel fino se verá cómo es empujado hacia adelante y hacia atrás por la onda sonora. Ello supone que podríamos mover con el papel que vibra un objeto suficientemente ligero como si aquél fuera un pequeño

motor, puesto que la onda sonora que ha ido del altavoz al papel transporta energía, más energía en el caso de una onda de gran intensidad (un sonido fuerte), y menos en el caso de una onda débil.

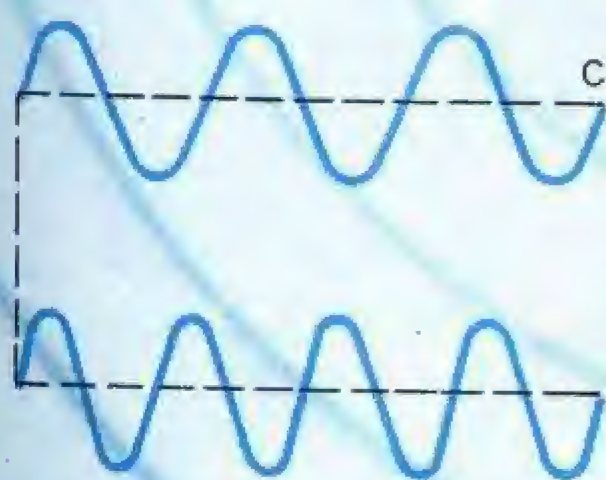
Un método científico para establecer la intensidad de una onda sonora es medir la energía transportada por cada centímetro cuadrado en cada segundo de tiempo. En la práctica, es necesario algo más intuitivo: una unidad de medida y una escala de intensidad que se adapten a la forma en la que el oído percibe la intensidad sonora.

El oído es sensible a sonidos muy débiles o muy intensos. En la escala física, la intensidad de un sonido tan fuerte que es capaz de producir dolor en el oído es, al menos, un billón de veces superior a aquella del mínimo sonido audible. Entre esos extremos, cada vez que la intensidad sonora se duplica, la sensación de aumento de intensidad se eleva una cantidad constante. Por esto se ha elegido una escala de sensación de intensidad relacionada con el comportamiento del sistema auditivo humano. La intensidad sonora más débil que puede percibir el oído humano es de cien micras de micra de micra de vatio por centímetro cuadrado (100×10^{-18} W/cm^2). Una diezmilésima de vatio por centímetro cuadrado provoca dolor. Al *umbral de audición*, es decir al nivel más bajo audible, se le da el valor cero; en la misma escala, aquél que produce dolor alcanza los valores 120-130. La unidad de medida se llama *decibelio* (en honor de Alexander Graham

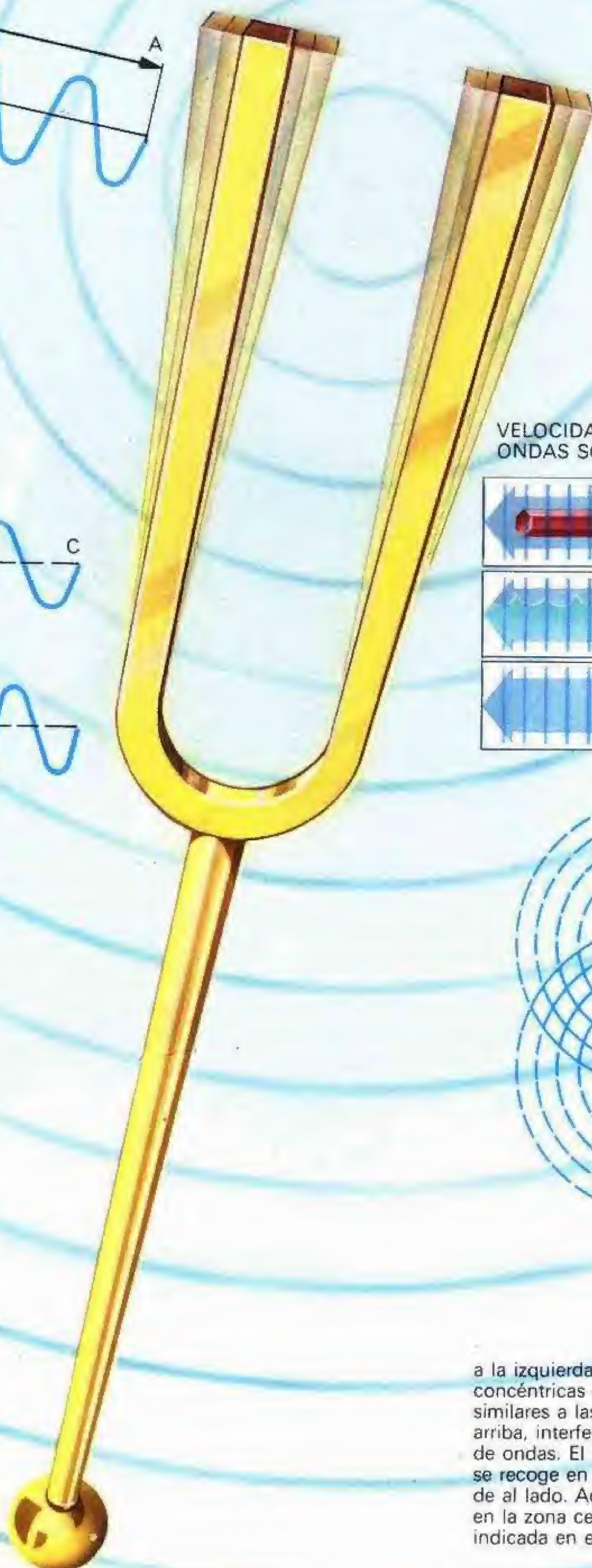


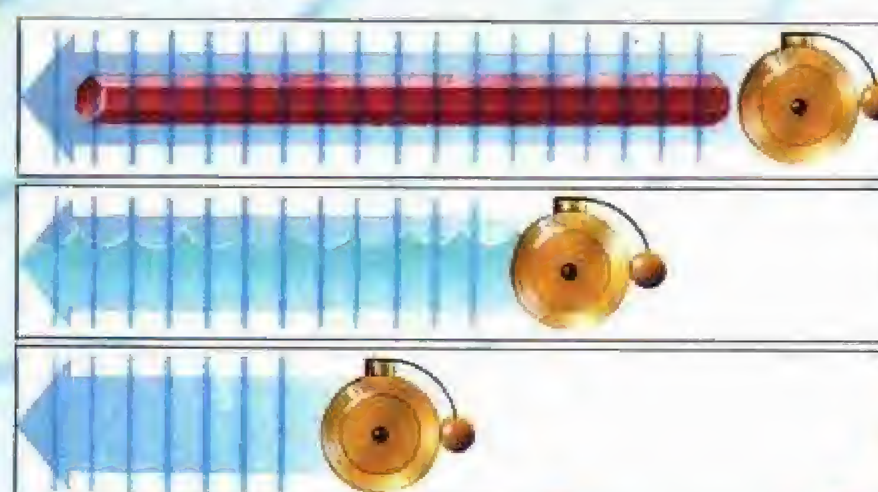


(valores distintos de intensidad)



(valores distintos de tono)









Arriba, en A, la amplitud de la onda está indicada por la distancia entre *a* y *b*, la duración del período, por la que separa *c* y *d*. El número de ondas que se repite durante un segundo se llama frecuencia. En B, diagramas de dos sonidos de diferente intensidad: la intensidad de un sonido aumenta al crecer la amplitud de las ondas que lo producen. En C, diagramas de dos sonidos de tono diferente: el tono de un sonido se hace más alto al aumentar la frecuencia de las ondas que lo producen; la mayor frecuencia corresponde necesariamente a un período más breve. En las dos fotos en blanco y negro, a la izquierda, ondas concéntricas en el agua, similares a las sonoras; arriba, interferencia de ondas. El fenómeno se recoge en el esquema de al lado. Además, en la zona central, indicada en el dibujo por el segmento que une los dos centros, se forma un sistema de ondas estacionarias, es decir, que no se propagan. Arriba, espacios recorridos por las ondas sonoras en el mismo tiempo, en tres medios diferentes: hierro, agua y aire, es decir, en un sólido, un líquido y un gas. La velocidad de propagación aumenta, en general, al pasar de gas a líquido y de líquido a sólido.

Bell, inventor del teléfono). En esta escala, a un aumento de tres decibelios le corresponde un aumento de la intensidad sonora al doble. Sin embargo, el oído no tiene la sensación de una intensidad doble sino sólo un poco mayor. La mínima diferencia de intensidad distinguible por el oído humano es de un decibelio.

El tono El tono es, como hemos visto anteriormente, la característica que hace al sonido grave o agudo. El oído humano no puede oír todos los tonos. El tono se mide como la frecuencia de las ondas sonoras: el oído es sensible a frecuencias comprendidas entre 16 y 20.000 ondas por segundo. La unidad de medida de la frecuencia es el *Hercio* (Hz). Hay sonidos que tienen un tono más bajo o más alto que los comprendidos en el campo audible; se llaman *infrasonidos* a los de frecuencia menor de 16 Hz y *ultrasonidos* a los de frecuencia mayor de 20.000 Hz. El límite superior no está bien definido, puesto que frecuencias del orden de 20.000 Hz sólo pueden ser percibidas por oídos jóvenes; con la edad el umbral de audición desciende y, por encima de los 50 años, el límite superior puede hallarse por debajo de 10.000 Hercios.

No existen instrumentos musicales capaces de generar sonidos de forma eficaz dentro de toda la gama audible. Esto depende del hecho de que cada instrumento musical genera sonidos con un mecanismo que es eficiente sólo dentro de una gama particular de frecuencias. Por ejemplo, una guitarra produce sonidos graves o bajos con cuerdas de gran diámetro y agudos o altos con cuerdas finas; para que suenen las notas más agudas es necesario tocar la cuerda más fina teniéndola presionada con un dedo en los trastes. Pero en este caso la cuerda no puede transmitir al aire suficiente energía y la nota es aguda pero falta de intensidad, y puede ser tapada por cualquier otra nota de la escala central que se toque a la vez. Esto mismo se puede decir del violín o de los instrumentos de viento.

Hay también instrumentos que tienen un sonido potente en todas las frecuencias, como es el caso del órgano.

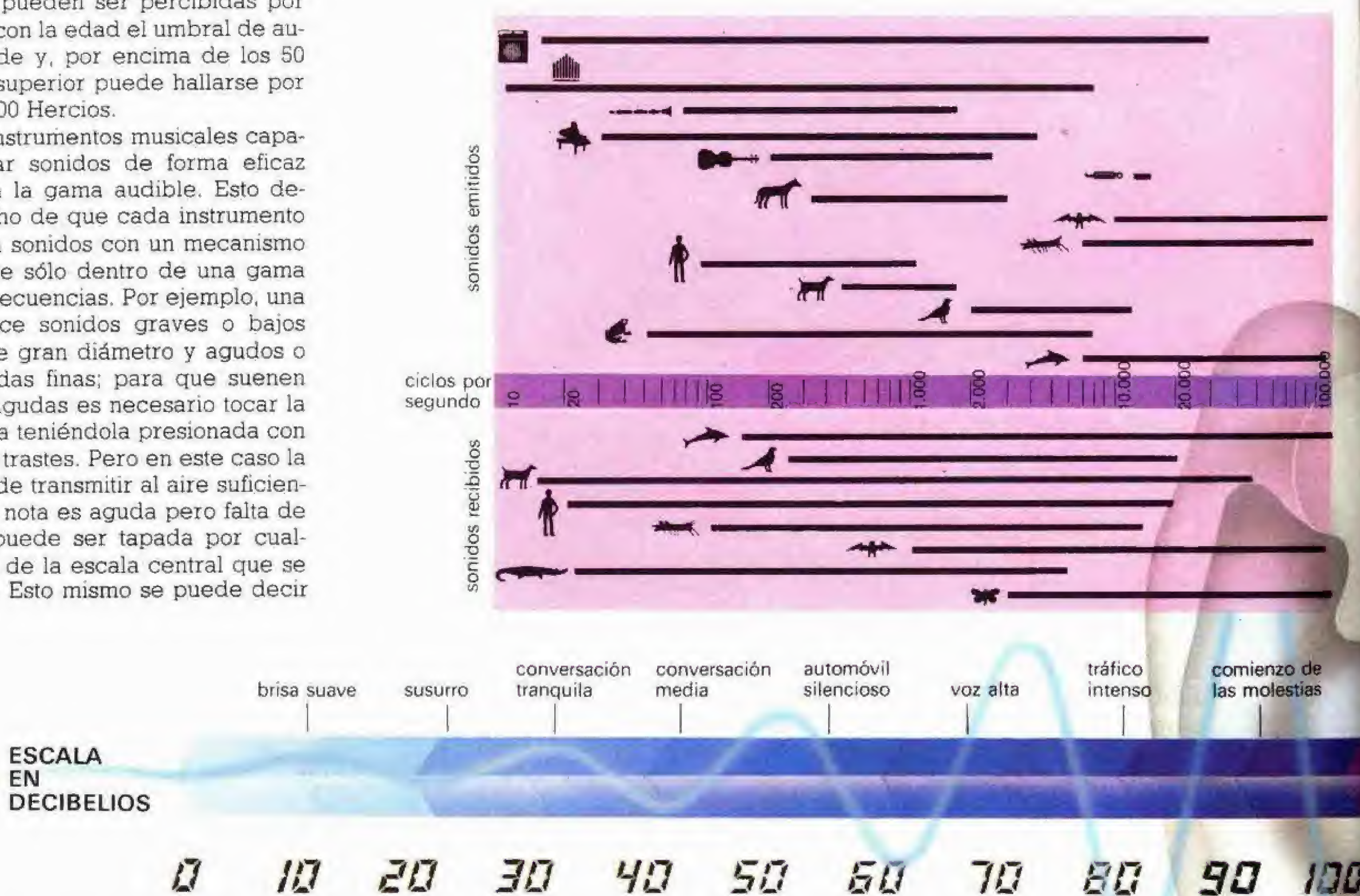
El timbre El timbre es aquella característica que distingue dos sonidos del mismo tono e intensidad. Lo que distingue físicamente estos dos sonidos es la diferente forma del diagrama de presión. La mayor parte de los instrumentos musicales producen sonidos muy personalizados y cada uno tiene una forma diferente de onda. Los instrumentos musicales más comunes tienen formas de onda similares, pero no iguales a la conocida sinusoide. Hace casi doscientos años, un matemático francés, J. B. Fourier, inventó un método para reconstruir la forma de cualquier oscilación por medio de la suma de sinusoides de diversas frecuencias. En su honor, este método de análisis de las formas de onda se llama "análisis de Fourier". Por medio de este método de análisis es posible deducir cuáles son los componentes de cada forma de onda.

En los últimos tiempos se ha querido hacer todavía más; en vez de limitarse a utilizar siempre los mismos timbres de los mismos instrumentos musicales se ha inventado un aparato electrónico capaz de generar en la práctica cualquier timbre, produciendo sonidos de timbre totalmente diferente a los de los instrumentos clásicos y modernos. Este instrumento, el *sintetizador*, puede reproducir también los timbres clásicos, pero no tiene límite para generar otros nuevos. El nombre "sintetizador" lo recibe por poseer la capacidad de sumar componentes sonoros, de modo que obtiene mediante una elección física y matemática timbres nuevos.

Aunque amigo de los instrumentos musicales, el timbre es enemigo de las aplicaciones técnicas de la acústica. Tanto en la técnica de los intrumentos como en la reproducción del sonido, el timbre es contraproducente. Un sistema de grabación musical no debe tener un timbre propio, pues éste se combina con el de la música desvirtuándola ¡Podría ocurrir que grabáramos música de flauta y al reproducirla la oyéramos como si fuera de violín! Lo mismo es aplicable al altavoz: debe poder reproducir los sonidos que le son enviados por medio de señales eléctricas sin sobreponer a éstos características suyas

La propagación del sonido Para medir la distancia a la que ha caído un rayo es suficiente medir el tiempo transcurrido desde que se ha visto el relámpago hasta que se ha oído el trueno; se divide entre tres y se obtiene la distancia en kilómetros con bastante aproximación. Esto quiere decir dos cosas: primero, que el valor de la velocidad del sonido, aunque grande, es finito; segundo, que ese valor es aproximadamente 330 metros/segundo.

El valor exacto depende de muchos factores. El fundamental es la característica elástica del aire, que condiciona su capaci-



En el gráfico superior, frecuencias emitidas por diversos elementos y recibidas por diferentes oídos. La barra coloreada con catorce colores representa la escala de intensidades sonoras. Estas se miden en decibelios. Cada 10 dB la intensidad sonora aumenta diez veces (potencias de 10). Un sonido de 80 dB es mil veces más intenso que uno de 50 dB. Sonidos de menos de 10 dB son difícilmente audibles; sonidos que superan los 120 dB llegan a provocar dolor y a 140 dB se pueden generar consecuencias patológicas.



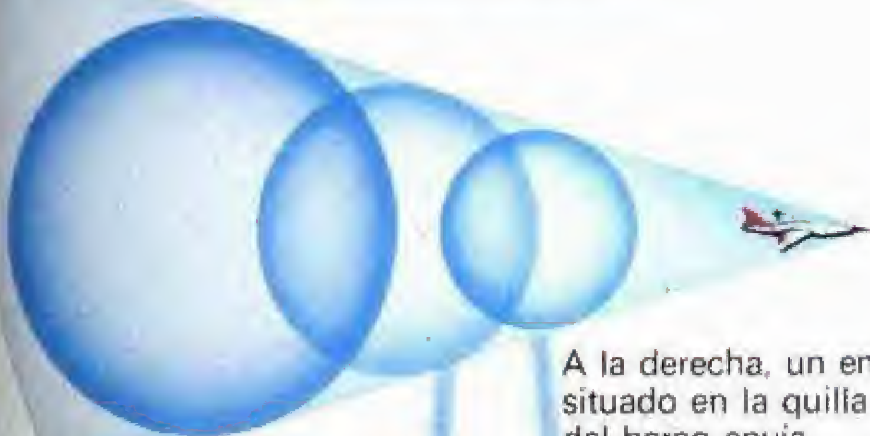


Al lado y abajo, dos ondas sonoras en condiciones térmicas opuestas: en el aire frío cubierto por una capa de aire caliente las ondas tienden a desviarse hacia abajo; en el supuesto contrario lo hacen hacia arriba. Este comportamiento diferencial hace que, a una misma distancia, un sonido sea o no audible.

Abajo, un eco múltiple. La mínima distancia para que un eco de al menos una sílaba sea apreciable es de 17 m. Un avión supersónico (más abajo) supera las esferas de las ondas encontrándose en el vértice de un cono formado por sus propias ondas sonoras.



Arriba, efecto Doppler. Este efecto consiste en un relativo cambio de la frecuencia de un sonido emitido por un móvil y recibido por un individuo parado; cuando el móvil avanza hacia el individuo, las ondas se acumulan y el sonido se hace más agudo; cuando el móvil se aleja, las ondas se separan provocando una ficticia disminución de la frecuencia y el sonido se hace más grave.





A la derecha, un emisor situado en la quilla del barco envía una señal de altísima frecuencia (ultrasonido): el reflejo del sonido, recibido por un micrófono subacuático, comunica la profundidad del fondo.



Arriba, sección del oído externo, medio e interno. El sonido recibido hace vibrar el tímpano, que transmite las vibraciones al oído medio, donde tres huesecillos móviles —martillo, yunque y estribo—, lo transmiten a la ventana oval, que está en comunicación con el oído interno y, por tanto, con el laberinto o caracol, el cual está provisto en una de sus partes de pequeñísimos cilios y sumergido en un líquido. Este líquido, excitado por las vibraciones de la ventana oval, produce un movimiento que es recibido por los cilios, fibras nerviosas que transmiten el estímulo al nervio acústico. De esta forma, el mensaje llega al cerebro, donde se procede a su interpretación.

dad de comprimirse y dilatarse alternativamente y de que se propague la onda a distancia. Además de la característica elástica influye también la densidad. A nivel del mar la velocidad del sonido en aire puro y no turbulento es de 331,45 m/s. La precisión con que ha sido calculado es tal que el valor real no se diferencia de él en más de 5 cm/s. Esta velocidad corresponde aproximadamente a 1.200 km/h. Con la altitud, la velocidad disminuye.

La velocidad del sonido se puede medir de muchas formas, entre ellas la más sencilla es la de producir un ruido de muy corta duración y medir el tiempo que tarda en llegar a un micrófono puesto a una distancia conocida. Entre el micrófono y el generador se debe situar el "medio" en el que se quiere determinar la velocidad de propagación. El experimento se efectúa en un tubo largo que puede llenarse con gases a distintas presiones, o con líquidos.



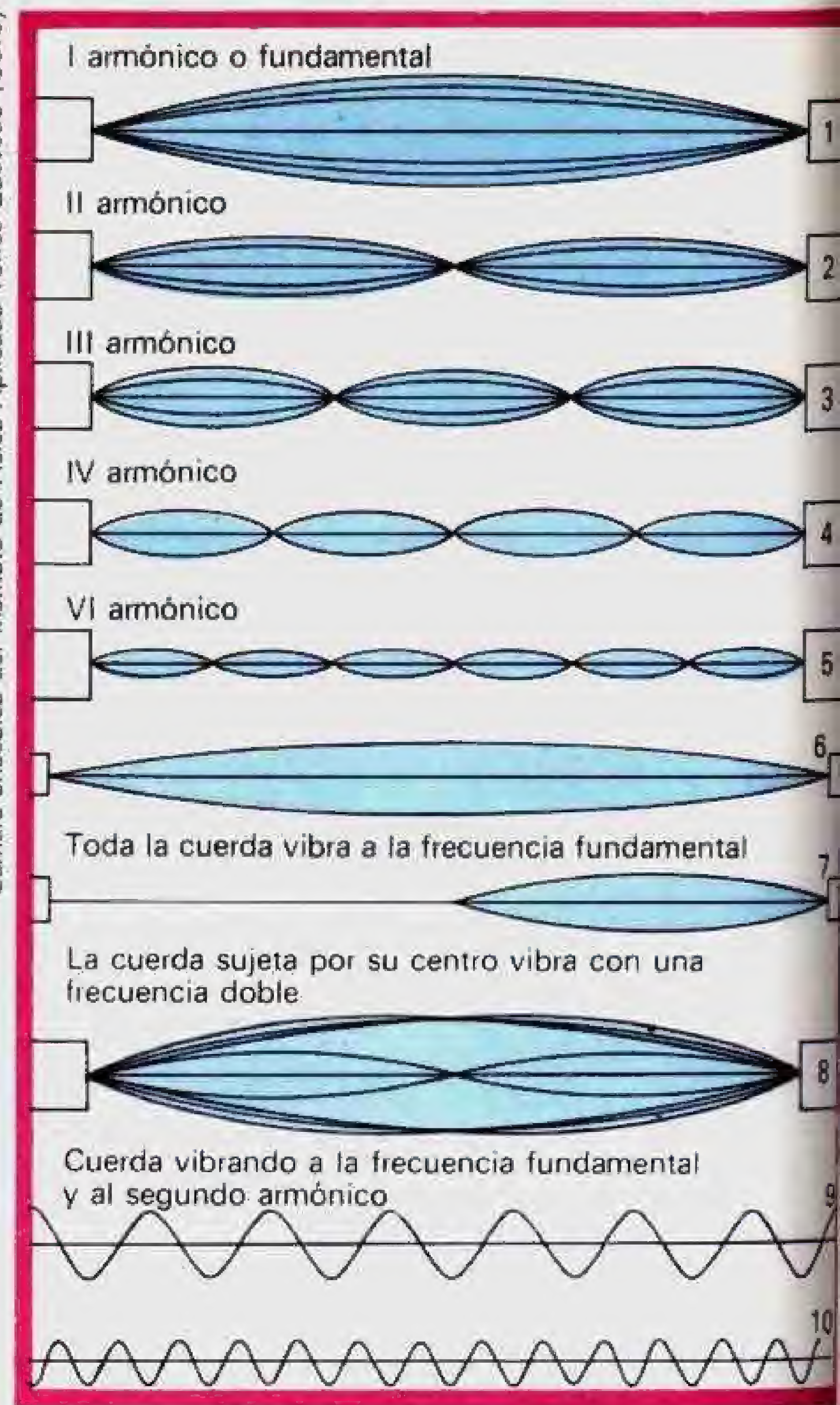
Durante una tormenta se producen rayos. El tiempo que transcurre entre la percepción del destello luminoso y la del ruido del trueno demuestra que la velocidad de la luz supera a la del sonido. Como el sonido recorre un kilómetro cada 3 segundos aproximadamente, midiendo el tiempo que transcurre entre ambos fenómenos, se puede establecer la distancia a la que se halla la tormenta.

La velocidad en los diferentes gases varía mucho. Por ejemplo, en el dióxido de carbono baja a un valor de 260 m/s y sube hasta los 1.269,5 m/s en el hidrógeno. En los líquidos la velocidad es mayor que en los gases. Casi todos se acercan a la velocidad de 1.000 m/s; el agua que, como es sabido, es un líquido en muchos aspectos excepcional, es también uno de los líquidos con mayor velocidad de propagación del sonido: aproximadamente 1.500 m/s. Además de transmitir a gran velocidad, posee uno de los menores coeficientes de absorción del sonido. Esto significa que en ella un sonido puede propagarse a grandes distancias con pequeñísimas atenuaciones.

La velocidad del sonido en los sólidos oscila entre 3.000 y 5.000 m/s en los casos más frecuentes. Baja a poco menos de 2.000 m/s en el plomo y sube hasta 12.890 m/s en el berilio, que por este motivo se emplea en la fabricación de muelles de precisión para instrumentos de medida.



Cámara anecoica del Instituto de Física Aplicada Torres Quevedo (CSIC)



Reflexión y refracción Hace ya más de un siglo que dos físicos, uno de nacionalidad francesa, y otro, alemana, descubrieron cómo "fotografiar" las ondas sonoras, parándolas por medio de un velocísimo destello eléctrico. Una onda sonora, como la producida al saltar una chispa eléctrica, es una superficie en forma de esfera en la que el aire está momentáneamente comprimido. Rápidamente la presión se comunica hacia el exterior: la esfera se hace más grande: decimos entonces que la onda sonora se dilata. Los dos físicos inventaron un método para que la zona del espacio donde está comprimido el aire apareciera más oscura en la fotografía. En la experiencia se usan dos chispas: la primera produce la onda sonora; la segunda, que se hace saltar pocas diezmilésimas de segundo después, ilumina la onda que se aleja de la primera chispa ya apagada.

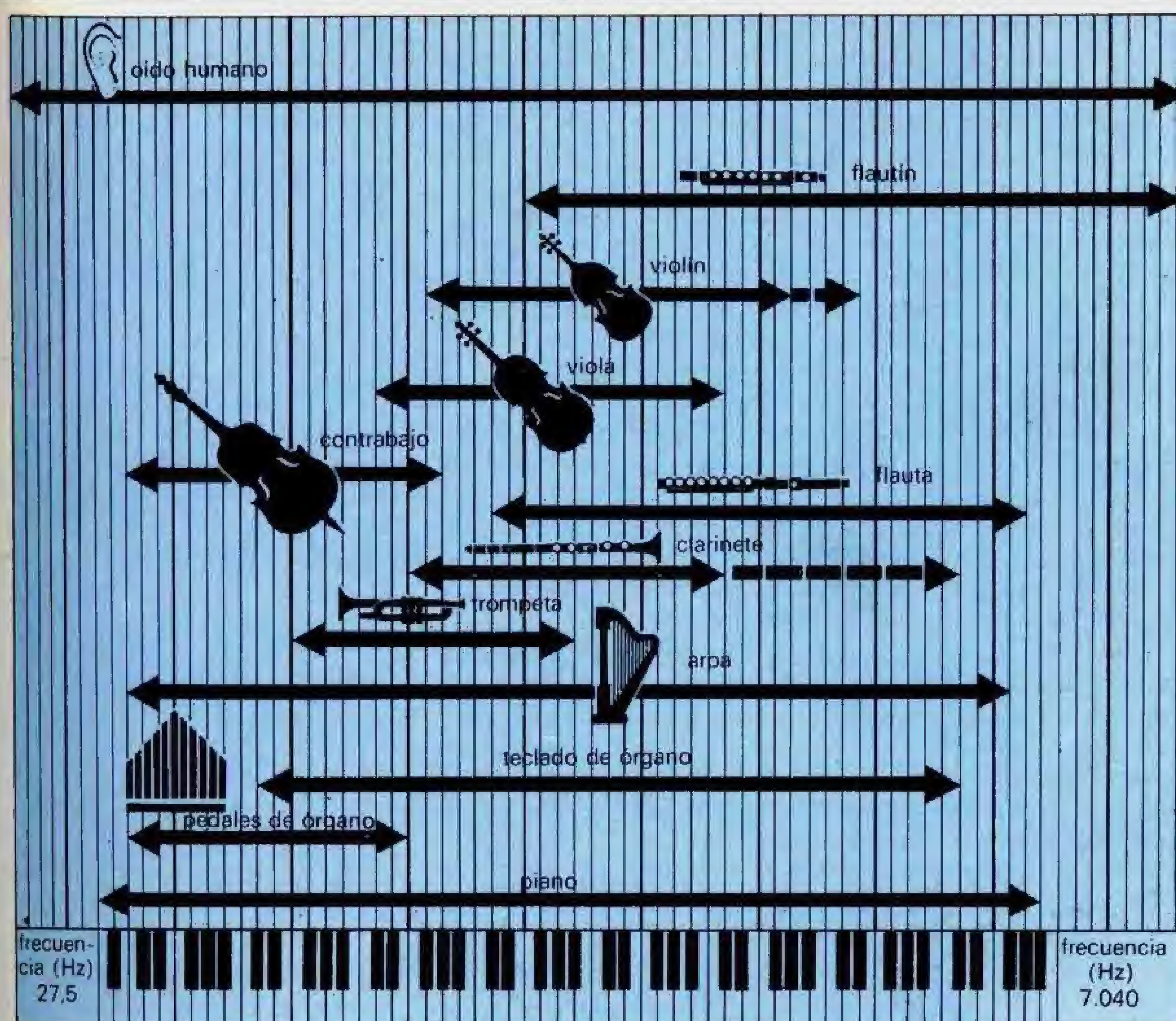
Con este dispositivo, que se perfeccionó después, pueden observarse muchos fenómenos que se producen durante la propagación de las ondas sonoras; entre ellos, la *reflexión* y la *refracción*. Si se hace chocar la onda que se propaga contra una pantalla constituida, por ejemplo, por una hoja de cartón, se ve la onda reflejada en ella. Dos membranas de plástico sujetas a un bastidor redondo e infladas en forma de lente con un gas adecuado provocan que la onda sonora se concentre igual que una lente de vidrio lo hace con la luz.

Estas y otras experiencias ponen en evidencia el hecho de que las ondas sonoras se comportan como las ondas luminosas, en particular, en lo referente a reflexión y refracción. Muchas consecuencias de estos dos fenómenos pueden apreciarse por medio de sencillas observaciones. Por ejemplo, cuando frente a la ladera de una montaña emitimos un grito breve, oímos el reflejo después de unos instantes: es lo que llamamos "eco". Si, en el mismo sitio, pronunciamos en voz alta una frase o una palabra larga, el eco de cada sílaba vuelve mientras estamos pronunciando la siguiente y se confunde con ésta. Sólo la última llega cuando nuestra boca está ya cerrada y por tanto la oímos.

Durante una excursión a la montaña este fenómeno es curioso y agradable de experimentar, pero en una sala de conciertos es molesto. Por esto, los teatros, cines, salas de conciertos, salas de conferencias, etc. deben diseñarse y realizarse de modo que no se oigan los ecos no deseados. Si todas las paredes de estas salas fuesen absorbentes del sonido los ecos no se oirían, pero a los oídos de los oyentes no llegaría más que el sonido proveniente en línea recta de la fuente sonora (orquesta, etc.). La sala sería "sorda". Por ello los constructores de estas salas deben diseñarlas de modo que la forma de las paredes y el techo reflejen el sonido sin producir ecos molestos.

En la reproducción musical algunas veces se desea el efecto del eco, que se consigue mediante ciertos equipos electrónicos. Para el estudio de las fuentes sonoras y para la grabación musical es necesario trabajar en una habitación exenta de ecos. Esto se consigue cubriendo las paredes con materiales absorbentes del sonido, e insonorizando los muros para que no transmitan ruidos o sonidos provenientes del exterior. Una habitación de este tipo recibe el nombre de *cámara anecoica*.

Los fenómenos de refracción del sonido no tienen demasiadas aplicaciones prácticas; con todo, es necesario conocerlos puesto que pueden influir en la propagación del sonido a largas distancias. Cuando se vierte un licor dulce o un jarabe en agua, éste forma una especie de estratos y, aunque no cambia la transparencia, a través del líquido no se ve claramente. Para el sonido existe un fenómeno análogo: el

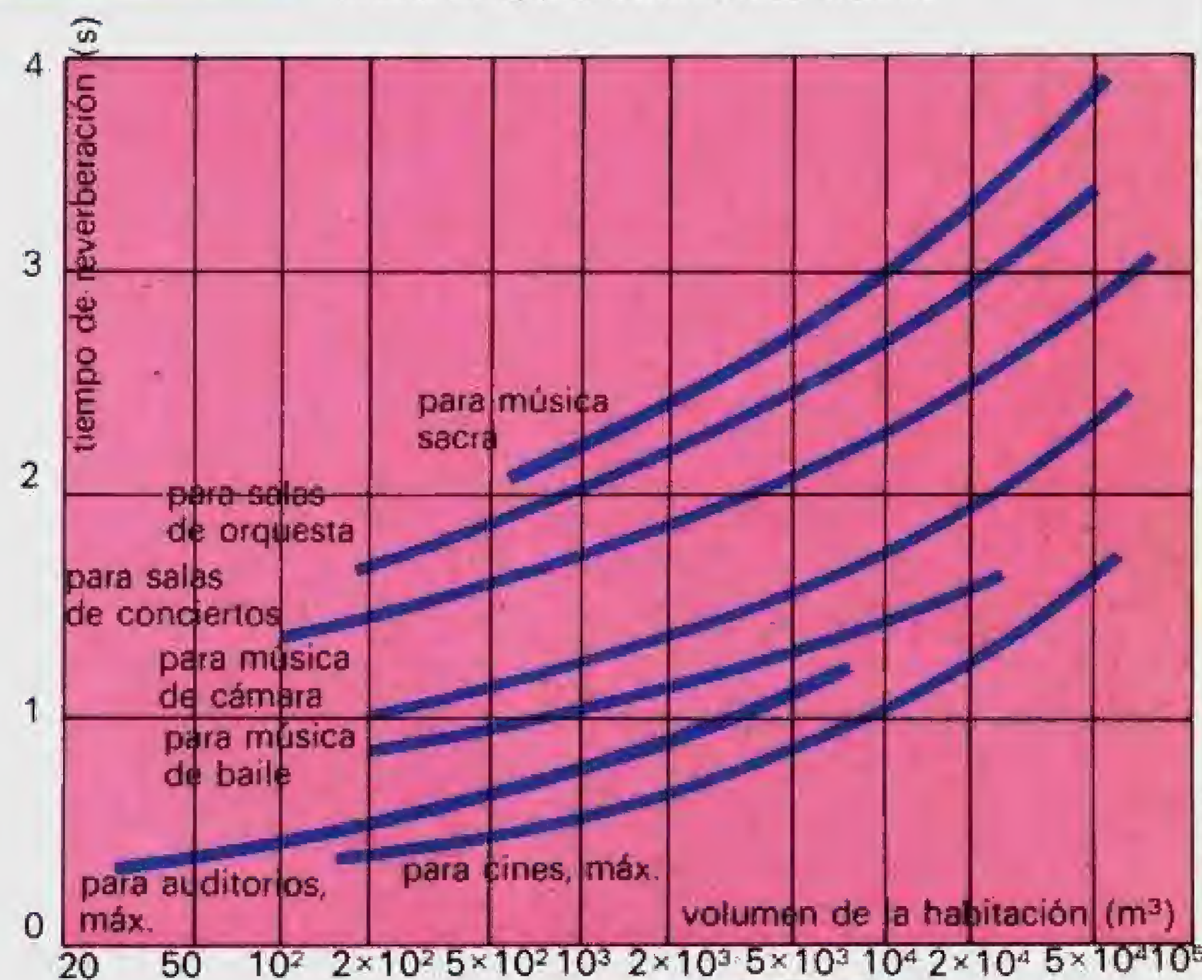


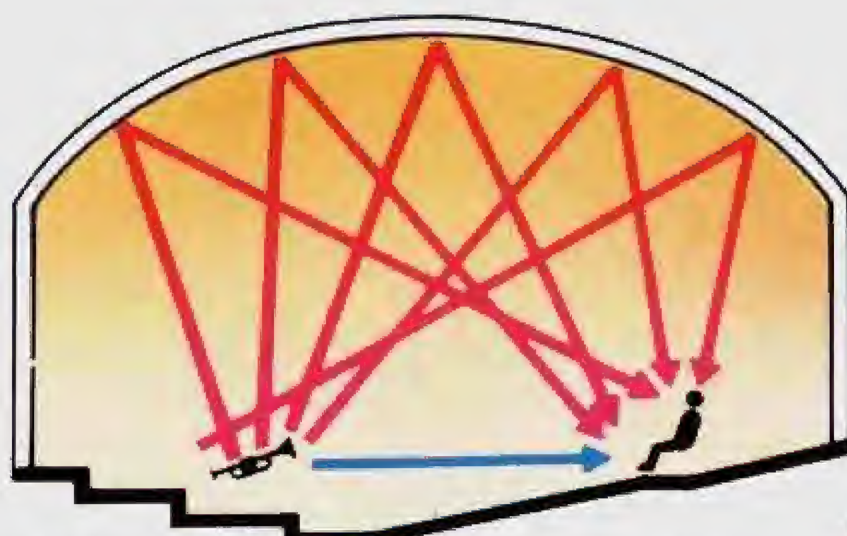
aire no tiene en todo su volumen la misma temperatura y cuando, a través de él, se propaga el sonido, éste experimenta pequeñas y continuas desviaciones que al final hacen confusa la audición.

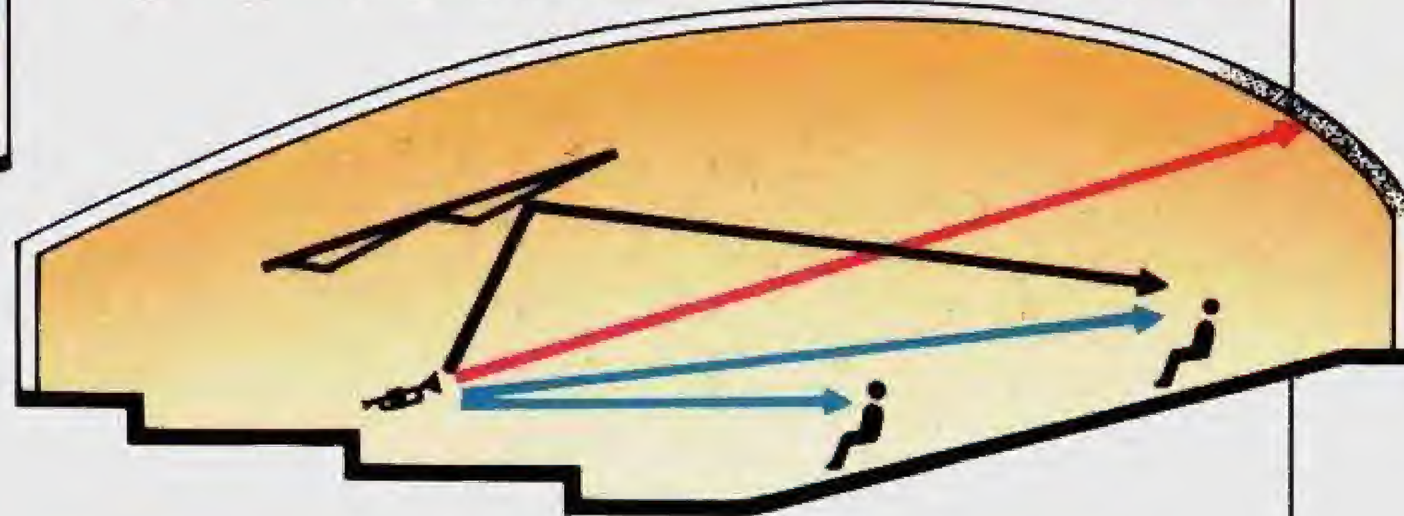
La insonorización Si se recluye durante largo tiempo a un hombre en una cámara anecoica, es muy probable que acabe volviéndose loco; permanecer largo tiempo en un ambiente en el que el nivel sonoro es elevado puede producir el mismo efecto.

La técnica de insonorización tiene por objeto disminuir la intensidad del nivel sonoro emitido, por ejemplo, por las máquinas. Actualmente se intenta crear ambientes en los que el ruido producido por las máquinas quede aislado. Para ello, es muy importante analizar las frecuencias a las que se produce el ruido, ya que cada frecuencia necesita un material diferente para ser absorbido; por ejemplo, para absorber sonidos agudos es necesario usar fieltros espesos (de fibra de algodón); para absorber sonidos graves, tejido de punto, placas de plomo de algunos milímetros, etc. Cuando se trata de realizar mezcla de sonidos se utilizan materiales de varios estratos en los que el fieltro alterna con finas hojas de plomo.

Véase **Altavoz; Instrumentos musicales; Optica; Osciloscopio y oscilógrafo; Sonido**







A la izquierda, una cuerda tensa entre dos soportes puede vibrar formando un solo arco con toda su longitud: la vibración se produce lentamente y se emite una nota grave. Más abajo, otras formas en que la cuerda puede vibrar: formando dos, tres, cuatro o más arcos a lo largo de su longitud. A cada una de estas formas les corresponden notas más agudas que se llaman "armónicos superiores", mientras que la más baja es el "fundamental". Una cuerda puede vibrar a la vez de varias formas y el sonido que emite es la suma de los armónicos que ha producido. En 6 y 7, la cuerda emite el primer armónico o fundamental; en 8, la forma de curvarse cuando se emiten los dos a un tiempo; en 9 y 10, las ondas sonoras correspondientes a las dos formas de vibrar. A pie de página, una onda sonora correspondiente a la suma de varios armónicos. Sobre estas líneas, la extensión de la escala de varios instrumentos musicales en comparación con las posibilidades auditivas del oído humano. El diseño acústico de una sala de conciertos debe tener en cuenta, sobre todo, el recorrido que el sonido puede seguir, al propagarse directamente o con reflejos, desde la fuente al auditor. Algunos de estos recorridos pueden no ser deseables: en esta sala, por ejemplo, la cubierta de perfil elíptico produce un efecto de focalización del sonido. Al contrario de la otra sala, los paneles de la cubierta pueden atenuar algunos reflejos produciendo una mejor audición. El tiempo que transcurre desde que en una sala de conciertos cesa la producción del sonido, hasta que la intensidad de los ecos ha descendido a un tercio de su nivel inicial se conoce como "tiempo de reverberación". En el diagrama, tiempos de reverberación para diversas cubiertas según el volumen del local y el tipo de audición.

Adhesivos

Los adhesivos son sustancias que hacen que un objeto se adhiera con otro similar o distinto. Se usan para pegar metales, madera, vidrio, cemento, cerámica, cuero, goma y plásticos, etc. Son particularmente importantes en la industria aeronáutica y en la construcción, campos en los cuales es esencial la absoluta fiabilidad de las uniones.

Adhesivos modernos Los nuevos adhesivos, extraídos del caucho y la celulosa, fueron desarrollados ya durante el siglo pasado, pero es en el nuestro cuando se han obtenido los mayores progresos, sobre todo debido al incremento de la industria aeronáutica, campo en el cual la buena cohesión entre las distintas piezas es verdaderamente cuestión de vida o muerte. Los constructores de aviones necesitaban productos que unieran superficies asegurando un elevado nivel de fuerza estructural, además de resistencia a la fatiga (entendiéndose ésta como el mismo fenómeno que se da en los metales cuando se debilita su estructura a consecuencia de esfuerzos continuos), y capacidad para soportar todas las inclemencias ambientales, incluso en condiciones extremas. Para afrontar estas exigencias los químicos desarrollaron nuevos productos, como las *resinas epoxídicas*, que están basadas en un procedimiento definido como *polimerización*. La polimerización es una reacción química en la cual dos o más moléculas se unen para formar moléculas de mayor tamaño; en algunos casos son "supermoléculas" que tienen una unidad molecular de base, repetida un gran número de veces.

En los años sesenta, cuando la demanda de adhesivos aumentó enormemente, se investigó fundamentalmente para comprender mejor todo lo que interviene en el proceso de adhesión. Los químicos formularon una teoría según la cual los adhesivos desarrollan su acción estableciendo un mecanismo de atracción intermolecular con los materiales que se van a adherir. Es el mismo fenómeno de atracción que mantiene unidas las sustancias sólidas de la Tierra. Los que sostienen esta teoría afirman que todos los materiales, incluyendo el agua, son en cierta medida potencialmente adhesivos y que los pegamentos son simplemente sustancias que poseen de una manera muy marcada esta característca de adhesión.

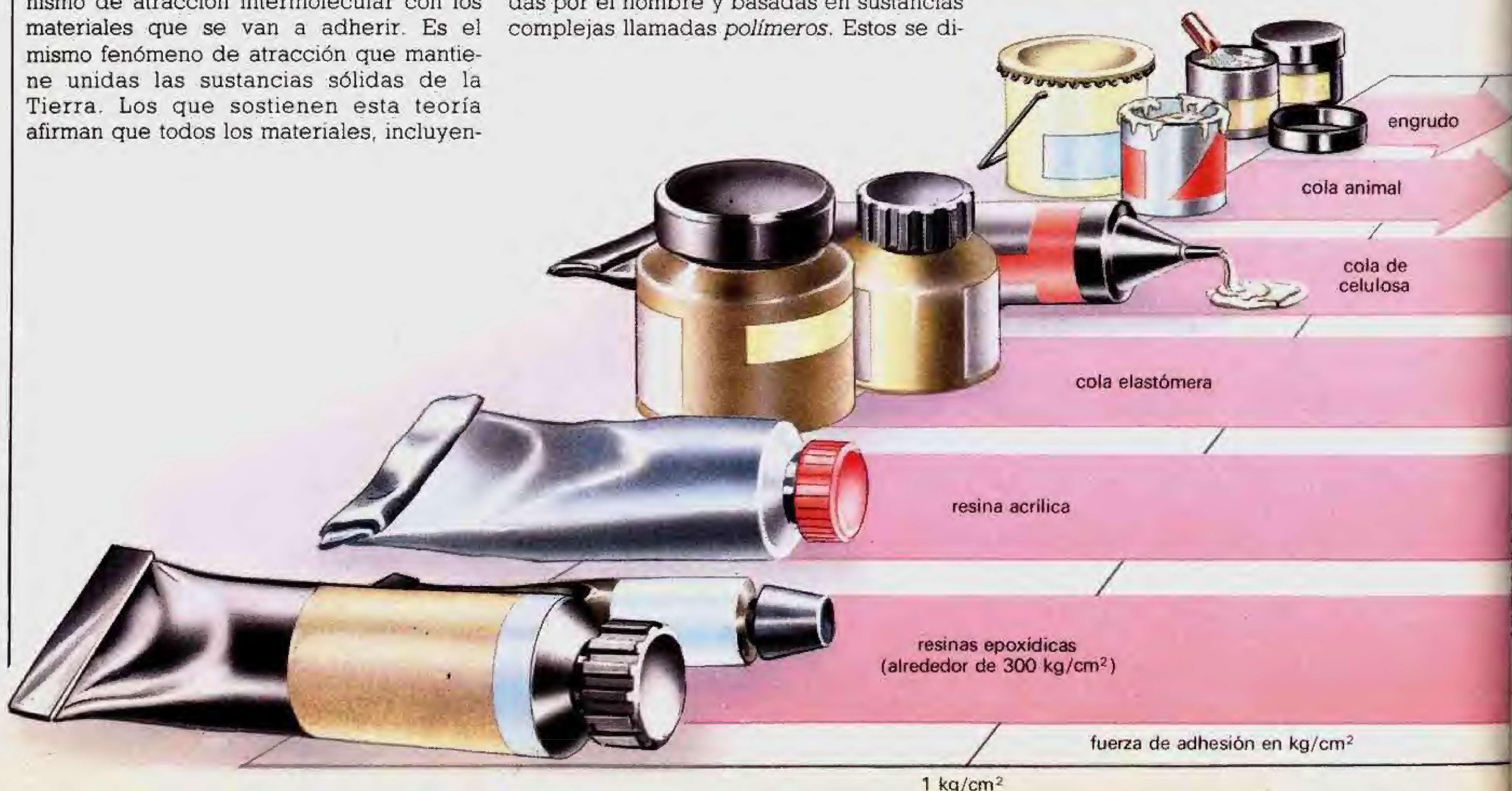
Colas naturales No es infrecuente escuchar que los caballos viejos terminan su existencia en las fábricas de cola. La alusión no se aparta de la realidad; en efecto, el adhesivo natural más corriente es la cola animal, constituida por una proteína llamada *colágeno* que se encuentra en la piel, huesos y tendones de los animales. En condiciones normales el colágeno es insoluble, pero tratado con ácidos, bases o agua caliente se modifica gradualmente en una forma soluble. Purificado y tratado con mucho cuidado, el colágeno se convierte en *gelatina*, sustancia que se utiliza en la alimentación y en la fabricación de filtros de colores para la fotografía. Sin embargo, cuando es tratado de una forma más rudimentaria, se transforma en un producto más oscuro y turbio, "cola animal". Durante siglos la cola animal ha sido usada en la ebanistería y en la encuadernación.

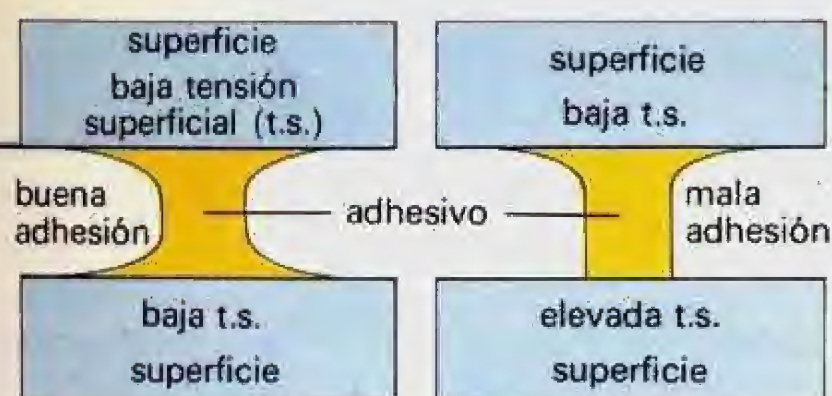
Otro adhesivo natural es la cola de *caseína*, que se obtiene tratando una proteína de la leche, la caseína, con un disolvente alcalino. Las colas a base de caseína dan mejores resultados que la cola animal para pegar la madera, utilizándose igualmente en las pinturas y lacas por su capacidad de adhesión. Otra cola natural, obtenida de la sangre fresca o deshidratada de los mataderos, se utiliza todavía en la industria de la madera para encolar bajo presión láminas delgadas de madera y obtener lo que comúnmente llamamos contrachapado. El *adhesivo vegetal* más común está constituido por una sencilla mezcla de harina y agua (engrudo) que era utilizada ya por nuestros abuelos para empapelar sus casas.

Casi todos los modernos adhesivos están compuestos por *resinas sintéticas* fabricadas por el hombre y basadas en sustancias complejas llamadas *polímeros*. Estos se dividen en dos grupos principales: *termoplásticos* y *termoestables*.

Adhesivos termoplásticos El término "termoplástico" es sencillamente un adjetivo técnico que describe que una sustancia se ablanda con el calor y se endurece de nuevo al enfriarse. Las resinas termoplásticas usadas como adhesivos son principalmente *resinas vinílicas* o *derivadas de la celulosa*. Las primeras contienen en sus moléculas un reagrupamiento de átomos típico de la química orgánica llamado *vinilo*. Los adhesivos de este tipo son activados mediante calentamiento seguido de enfriamiento o bien evaporando la parte líquida del disolvente. Un adhesivo vinílico típico es el *acetato de vinilo*, obtenido por la reacción del gas acetileno (usado corrientemente en las máquinas de soldar) con el ácido acético, que es el principal componente del acetato. Una vez polimerizado, el acetato de vinilo se convierte en esa emulsión blanca que hoy se utiliza universalmente como cola para uso doméstico. Otras resinas vinílicas son utilizadas para pegar entre sí las láminas de vidrio que forman las lunas de los escaparates y los vidrios de ventana irrompibles.

Adhesivos termoestables Los adhesivos termoestables (contrariamente de los termoplásticos) están compuestos por resinas sintéticas que al endurecerse experimentan una transformación química irreversible que las convierte en sólidas e insolubles en toda la escala de temperaturas que se pueden dar en condiciones normales. Tienen una amplia aplicación en la industria para pegar fuertemente hojas de plástico, de *formica* por ejemplo, a superficies de madera, o bien para obtener encoladuras resistentes al agua y a los agentes atmosféricos en la construcción y la náutica. Los adhesivos *epoxídicos* se basan en



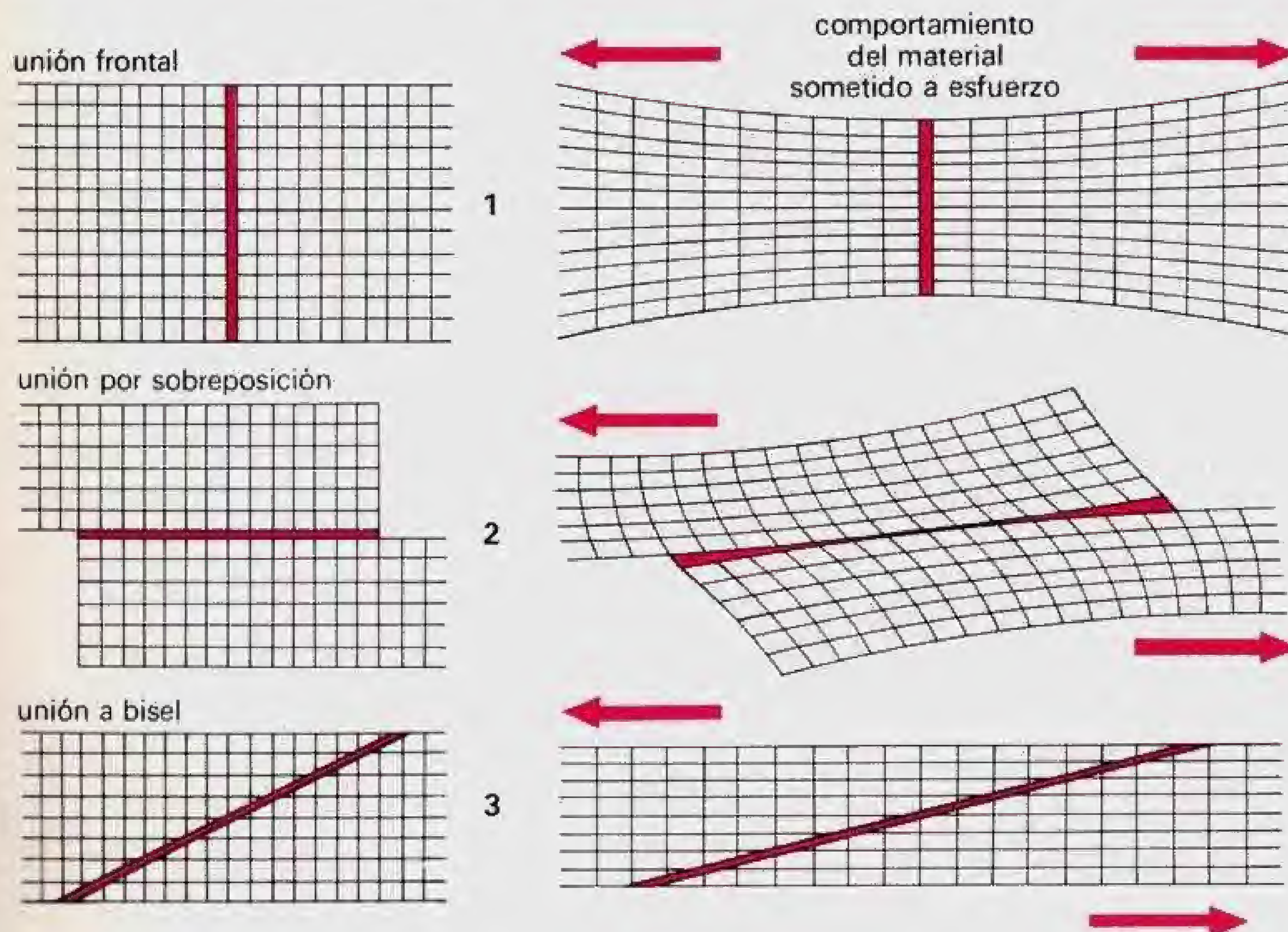




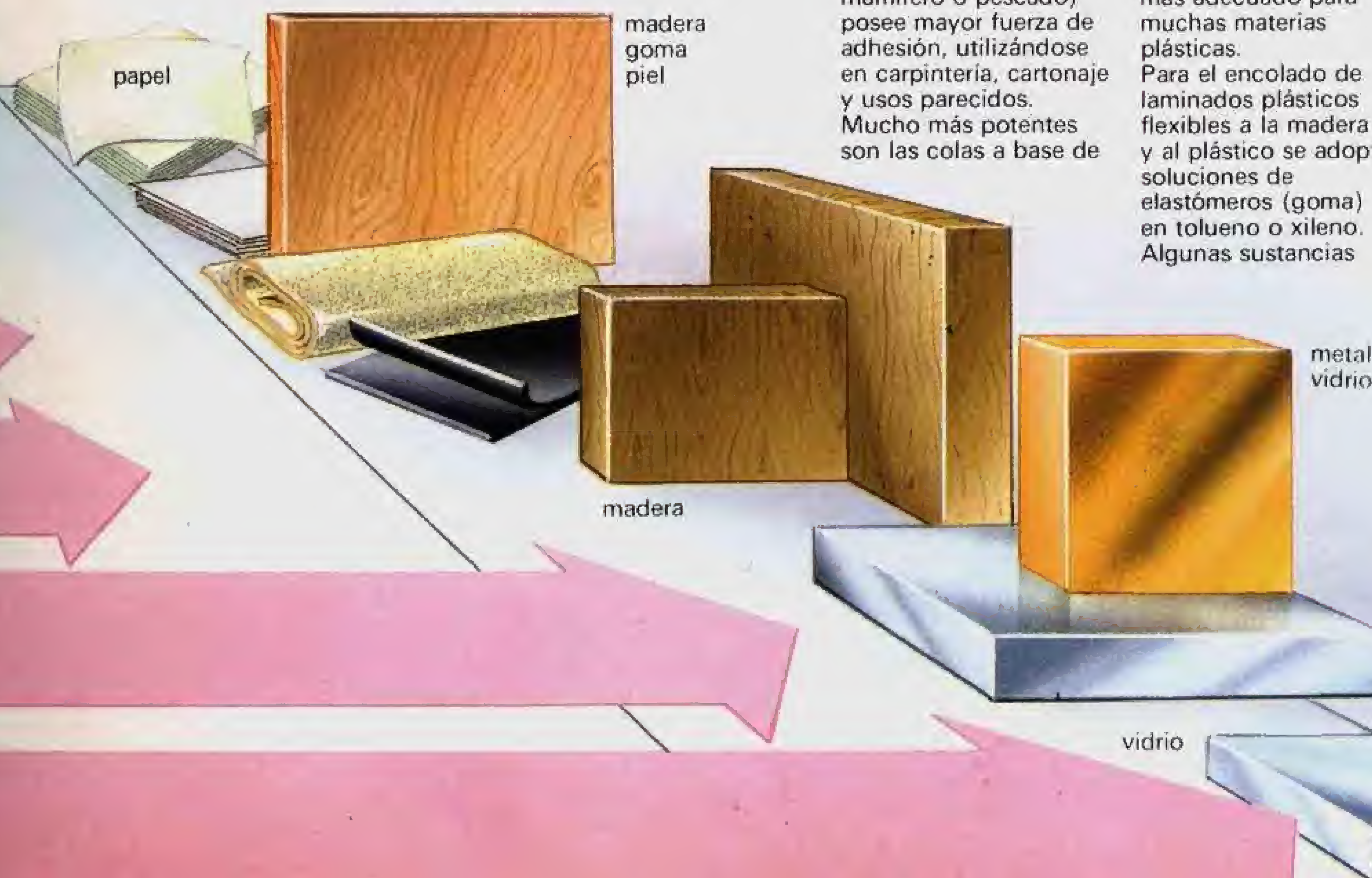
Un adhesivo da mejor resultado en su utilización cuanto menor es la tensión superficial con respecto a las superficies que se encolan (éstas tienen que ser recubiertas lo mejor posible); si sólo se recubre una de las dos superficies, la unión no es duradera. El pegamento debe penetrar en las porosidades de las superficies que se van a unir: también en este caso la baja tensión superficial produce mejores resultados

determinados compuestos químicos orgánicos (llamados *epóxidos*) que se mezclan en presencia de catalizadores, sustancias que favorecen las reacciones químicas aunque aparentemente no participen en ellas. Las partes encoladas se "tratan" después, es decir, se endurecen con el calor, aunque hay algunos adhesivos que se endurecen también a temperatura ambiente. Al ser los adhesivos epoxídicos excelentes aislantes eléctricos, se emplean masivamente en la fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos, en la automoción, en la odontología y en la cirugía ortopédica y cerebral. Otros adhesivos son los empleados en cirugía, que podrían definirse como los adhesivos que mantienen unidos los tejidos sin tener que recurrir a suturas o grapas. Al menos uno de estos adhesivos es conocido con el nombre de "cola loca" y requiere mucha atención cuando se utiliza, ya que si, por ejemplo, el que lo usa intenta a mitad de trabajo colocarse bien el pelo que le ha caído sobre la frente con las manos mojadas con este adhesivo, corre el riesgo de encontrarse con la mano pegada a la frente o al cuero cabelludo.

Véase **Acidos y bases; Catálisis y catalizadores; Polímeros**



Un adhesivo debe poseer gran facilidad para dilatarse o contraerse sin que se produzca una fractura fácil. Arriba, en la unión frontal **1**, podemos ver que el adhesivo se encuentra comprimido en el plano de la encoladura y alargado en el plano perpendicular. En la unión por superposición **2** la tensión indicada por las flechas produce alargamiento en el plano del pegado, así como en el plano perpendicular. En la unión **3**, el alargamiento es fuerte en el plano del pegado y pobre en el plano perpendicular. Las tres líneas que cruzan longitudinalmente el diagrama representado en el dibujo de abajo indican tres niveles de fuerza de adhesión. Los tipos de adhesivos están representados a la izquierda y los tipos de materiales que se encolan, a la derecha. La longitud de las flechas representa la intensidad de la fuerza.



de adhesión. El engrudo, una cola obtenida cociendo almidón (también se puede utilizar arroz o harina de trigo), se utiliza en la encuadernación, es decir, para sujetar el papel al papel o al cartón, o las finísimas pieles al cartón. La cola de carpintero o cola animal (obtenida mediante la cocción de pieles, huesos de mamífero o pescado) posee mayor fuerza de adhesión, utilizándose en carpintería, cartonaje y usos parecidos. Mucho más potentes son las colas a base de celulosa disuelta en acetona, acetato de amilo, xileno y tolueno. Estos disolventes son mucho más volátiles que el agua, y el encolado se consigue en breve tiempo. Se utilizan en la carpintería y como pegamentos universales. Sin embargo, a veces se emplea el poliestireno en lugar de la celulosa, obtenieéndose un adhesivo similar pero más adecuado para muchas materias plásticas. Para el encolado de laminados plásticos flexibles a la madera y al plástico se adoptan soluciones de elastómeros (goma) en tolueno o xileno. Algunas sustancias orgánicas se endurecen rápidamente al contacto con la humedad del aire, suministrando una gran fuerza de adhesión, apropiada para la sujeción de metales, madera, vidrio, mármol o combinaciones de estos materiales. Finalmente, la verdadera soldadura química de los metales se obtiene por medio de las resinas epoxídicas, las cuales están constituidas por un compuesto monómero o escasamente polimerizado. Mezclados con una sustancia básica, los monómeros se unen en largas cadenas moleculares (polímeros) que se entrelazan entre sí soldándose a los cuerpos que recubren con mucha fuerza. En caliente (por ejemplo 5 minutos a 180 °C) se obtiene una adhesión de 300 kg/cm².

Adolescencia

La adolescencia es la fase de transición del mundo de la infancia al mundo del adulto, en la que se producen en la persona importantes cambios físicos, intelectivos y psíquicos. Es un proceso complejo que todavía hoy aparece lleno de misterio. Las características del cambio adolescente pueden variar considerablemente de una cultura a otra y de un período histórico a otro. La capacidad de tener hijos —que es una de las tansformaciones biológicas que suceden en este período— supone un cambio repentino en la vida del adolescente, cambio que en algunas culturas se celebra con un rito de paso a la edad adulta (*ritos de iniciación*).

Normalmente se hace coincidir el principio de la adolescencia con la manifestación de la pubertad, es decir, con el estado de desarrollo físico en el que un chico o una chica están ya capacitados para tener hijos.

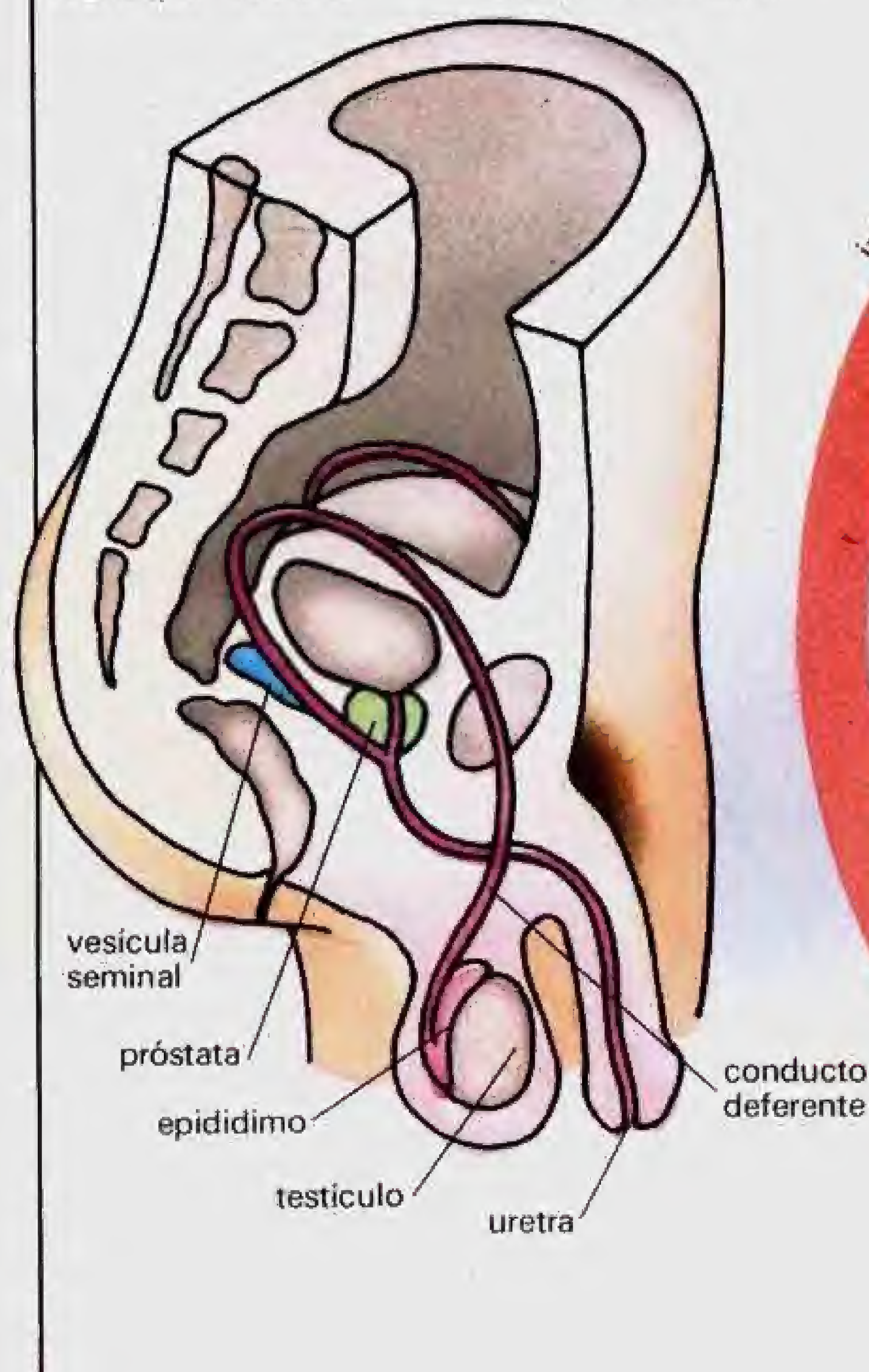
En las chicas esta manifestación corresponde a la aparición del primer flujo menstrual, la *menarquía*, acompañada por un desarrollo del pecho, una forma más redondeada de las caderas y la adquisición de un aspecto físico casi totalmente igual al de una mujer.

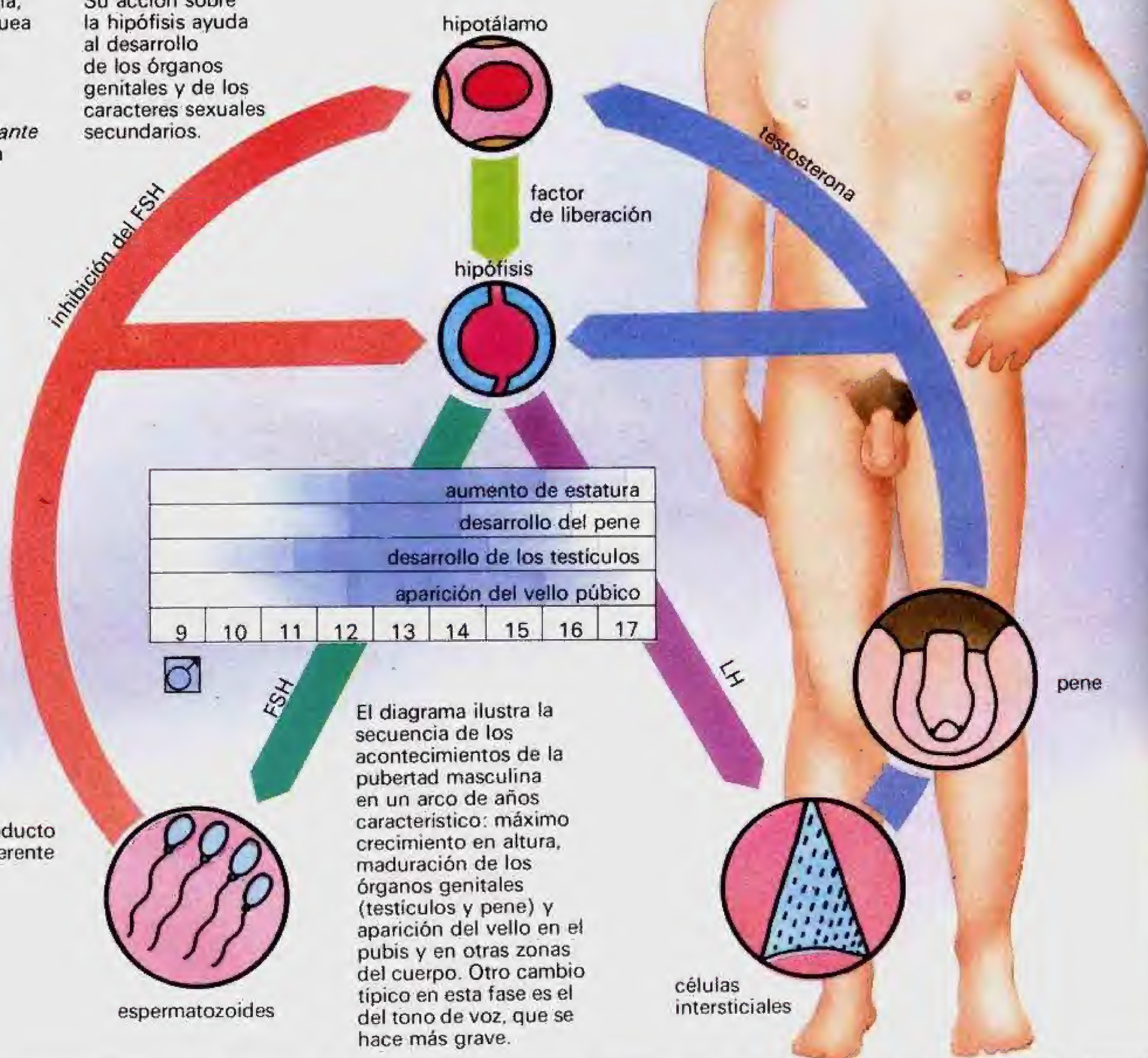
La edad de la aparición de la primera menstruación está influenciada por numerosos factores. Los factores genéticos tienen un papel secundario, y son responsables sólo del 10-15% de las alteraciones. Se ha observado que la edad de la aparición de la primera menstruación en chicas que viven en altitudes bajas y climas cálidos es inferior a la de las que viven a mayores altitudes y en climas fríos. El factor aislado más importante es la nutrición. Las chicas de nuestros días, criadas con mayores cuidados y con una alimentación mejor, tienen una menstruación más precoz. En este sentido, se sabe que tras la Revolución Industrial, período en que tuvo lugar una elevación general del nivel de vida, se notó una disminución en la edad de aparición de la menarquía. En Estados Unidos, la edad media de la menarquía se sitúa en torno a los doce años, un año menos que en Europa, donde está alrededor de los trece. Análogamente, las chicas que pertenecen a niveles socioeconómicos más altos, familias con pocos hijos y que viven en medios urbanos (condiciones que presuponen un mejor nivel de alimentación), llegan al umbral de la adolescencia a una edad relativamente más precoz.

El impulso de la actividad hormonal que controla la maduración sexual procede del hipotálamo, que estimula la parte anterior de la hipófisis. Entre los siete y los diez años, en las niñas (pero también en los niños), la hipófisis anterior produce una hormona, la luteinizante (LH), que estimula en los ovarios la producción de estrógenos, sustancias hormonales que a su vez influyen en el desarrollo de las mamas, del esqueleto, en los cambios de proporción de las diversas partes del cuerpo y en la disposición del vello púbico.

Algunos investigadores piensan que la evolución del peso corporal es uno de los factores más importantes. Así, en el desencadenamiento de la menarquía los investigadores de Harvard, Rose Frisch y Roger Revelle, dicen haber descubierto que la grasa debe suponer el 17% del peso total

La transformación que caracteriza la pubertad se inicia cuando el hipotálamo emite el "factor de liberación". En el varón, éste estimula en la hipófisis la secreción de la hormona *foliculo-estimulante* FSH, que induce la maduración de los *espermatozoides*. Cuando se alcanza la cantidad necesaria, la propia FSH bloquea su producción por un mecanismo de retroalimentación. La hipófisis libera la *hormona luteinizante* LH, que estimula la producción de *testosterona* por las células intersticiales. Su acción sobre la hipófisis ayuda al desarrollo de los órganos genitales y de los caracteres sexuales secundarios.





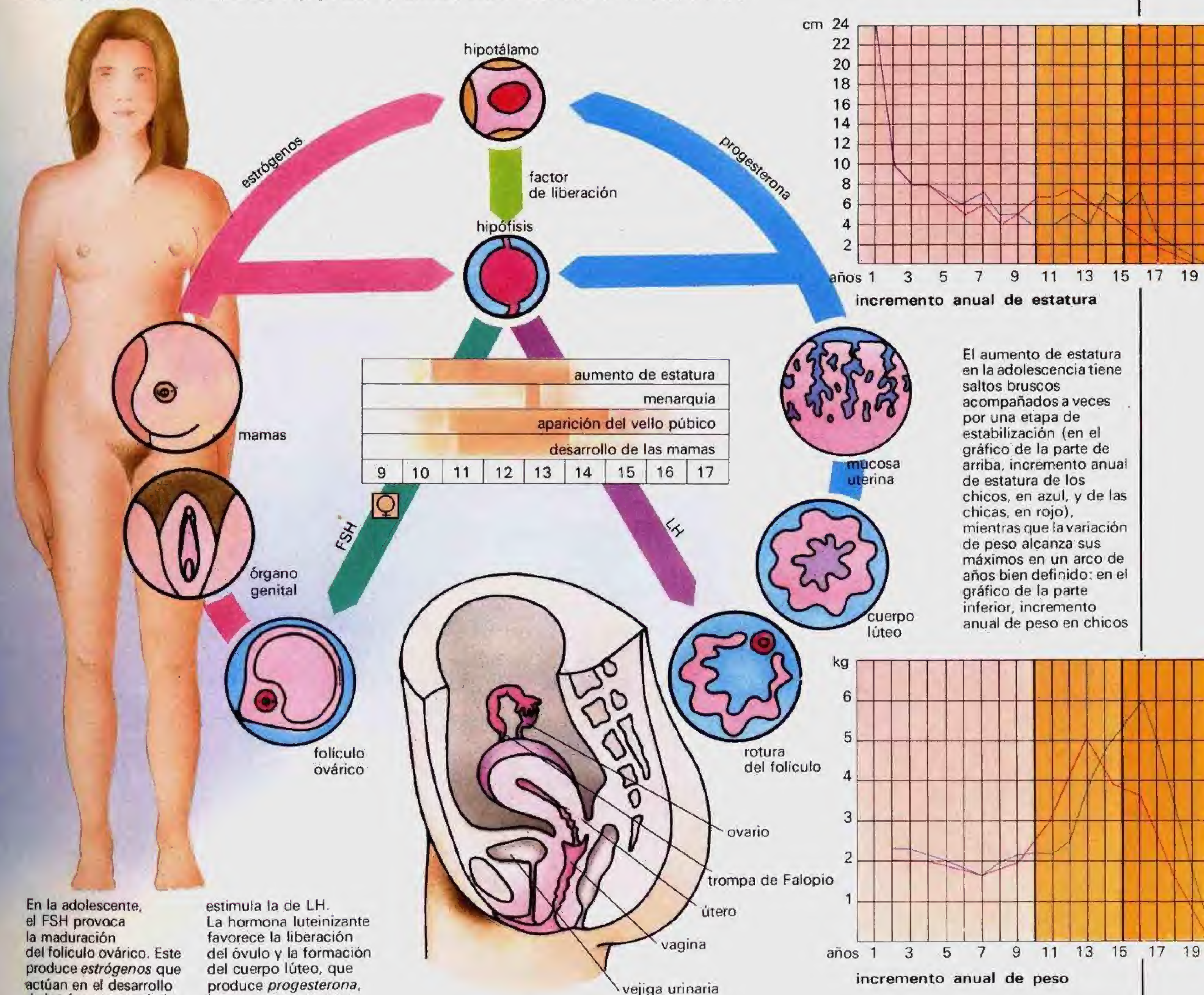
El diagrama ilustra la secuencia de los acontecimientos de la pubertad masculina en un arco de años característico: máximo crecimiento en altura, maduración de los órganos genitales (testículos y pene) y aparición del vello en el pubis y en otras zonas del cuerpo. Otro cambio típico en esta fase es el del tono de voz, que se hace más grave.

del cuerpo para que se produzca la primera menstruación. Esto ayuda a explicar la *amenorrea*, es decir, la interrupción del ciclo menstrual en las chicas que sufren una pérdida brusca de peso, o en las atletas en las que la cantidad de grasa baja del 17%. Aunque los datos clínicos tienden a confirmar la hipótesis de Frisch y Revelle, algunos científicos se muestran más escépticos y afirman que se trata de un caso en que las cifras son meramente descriptivas, en vez de aportar pruebas positivas. En los chicos es bastante difícil establecer con seguridad el inicio de la pubertad.

La pubertad no es nunca un suceso dramático que ocurre de manera repentina, sino un proceso dinámico cuyas manifestaciones más visibles son los cambios que se suceden en el cuerpo. Mientras en las chicas la aparición de la menarquía supone un hecho bien claro, en los chicos el fenómeno paralelo es la primera *eyaculación* (emisión de líquido espermático), que generalmente ocurre durante el sueño, por lo que puede pasar inadvertido. Los chicos, como las chicas, también experimentan un salto brusco en su crecimiento; en general, tiene lugar en una edad que va de los doce años y medio a los dieciséis, aunque puede adelantarse.

Otros cambios que suceden durante la pubertad son los del tono de voz, que en los chicos se hace más grave. Además, tanto en los chicos como en las chicas, la estructura ósea adquiere en este período su constitución definitiva; después de la soldadura total entre la epífisis y la diáfisis, ya no es posible un aumento de estatura. Por entonces, el corazón late con una frecuencia más alta y los caracteres sexuales secundarios alcanzan su total desarrollo. En este período no hay ninguna parte del cuerpo que permanezca inalterada: tanto los chicos como las chicas alcanzan un aspecto similar al de los adultos.

Véase **Edad adulta; Hormonas; Menstruación**



En la adolescente, el FSH provoca la maduración del folículo ovárico. Este produce *estrógenos* que actúan en el desarrollo de los órganos genitales y de los caracteres sexuales secundarios. La acumulación de estrógenos en la sangre, por una acción de retroalimentación sobre el hipotálamo y la hipófisis, bloquea la formación de FSH y estimula la de LH. La hormona luteinizante favorece la liberación del óvulo y la formación del cuerpo lúteo, que produce *progesterona*, hormona que prepara a la mucosa del útero a fin de recibir al óvulo para la fecundación. Si ésta no tiene lugar, la progesterona de la sangre disminuye, y se produce una nueva menstruación.

El aumento de estatura en la adolescencia tiene saltos bruscos acompañados a veces por una etapa de estabilización (en el gráfico de la parte de arriba, incremento anual de estatura de los chicos, en azul, y de las chicas, en rojo), mientras que la variación de peso alcanza sus máximos en un arco de años bien definido: en el gráfico de la parte inferior, incremento anual de peso en chicos y chicas. En el diagrama de la izquierda, hechos más señalados de la pubertad en la chica: máxima estatura, aparición de la menarquía y del vello púbico y desarrollo de las mamas.

Aerodinámica y aeronáutica

La aerodinámica se ocupa del estudio de las fuerzas que el aire en movimiento ejerce sobre un cuerpo que se desplaza en su seno. Su aplicación más importante la ha constituido "la conquista del aire" por parte del hombre, que en menos de un siglo de estudio y experiencias ha conseguido volar en el más veloz y eficaz medio de transporte: el avión.

Explicación aerodinámica del vuelo de un avión Imaginemos encontrarnos en una zona despejada, con fuerte viento, que presiona el cuerpo dificultando el movimiento. Si se extiende la mano horizontalmente, se siente la presión que ejerce; inclinándola respecto a la dirección del viento, se notará cómo la presión hace que gire en uno u otro sentido. La mano está comportándose como el alerón de un ala, que es básicamente una superficie que interacciona con el aire.

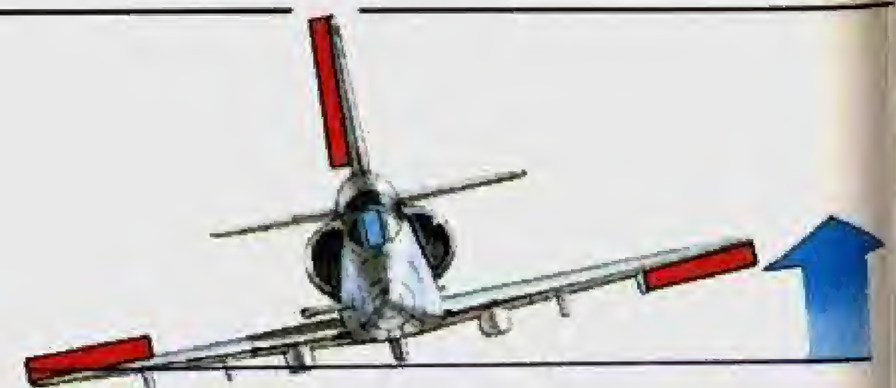
¿Es esto lo que permite que un avión vuele? No, no lo es, sin embargo sí es lo que hace volar a una cometa. Mientras una cometa es empujada por la presión del viento, un avión se levanta en el aire en virtud de una fuerza que se llama ascensional, o más correctamente *fuerza de sustentación*. La ascensión se origina moviendo el aire, de la misma forma que el viento que presiona la mano extendida. Cuando la mano se coloca horizontalmente y se hace que gire alrededor de la muñeca hacia arriba o abajo, se notará el efecto distinto que causa la presión que ejerce el viento. Si se doblan ligeramente los dedos, de forma que la mano quede curvada, la fuerza del viento parecerá disminuir, puesto que el aire se desliza con mayor fluidez sobre la mano. En realidad no disminuye la presión del viento; lo que ocurre es que el aire se desliza con más facilidad sobre una superficie curva que sobre una superficie plana, de ahí que se pueda decir que curvando la mano se adopta una forma aerodinámica. Hace más de doscientos años, un matemático suizo, Daniel Bernouilli, demostró la influencia de lo anterior en un flujo de aire, y descubrió el principio científico fundamental que posibilita el vuelo. El aire se mueve en forma de flujos y corrientes, del mismo modo que el agua. Alisando y curvando las superficies, Bernouilli descubrió que podía lograrse que el agua fluyera alrededor de un objeto sin que se originasen vórtices y turbulencias. Los peces constituyen un perfecto ejemplo de ello: poseen forma "aerodinámica" y Bernouilli consideró acertadamente que las formas aerodinámicas podían aplicarse tanto al agua como al aire.

Pero esto es sólo el comienzo de la historia. Bernouilli descubrió también que, dando forma aerodinámica a una superficie, el aire que se desliza sobre ella aumenta su velocidad. La corriente de aire, al aumentar su velocidad, disminuye su presión, precisamente siguiendo la llamada *ley de Bernouilli:*

$$P_1 - P_2 = 1/2\, \rho\, (v_1^2 - v_2^2)$$

siendo P_1 y P_2 las presiones en dos puntos distintos, v_1 y v_2 las respectivas velocidades y ρ la densidad del aire. Ello hace que si el perfil aerodinámico se diseña de tal


viraje a la izquierda


viraje a la derecha


ascenso

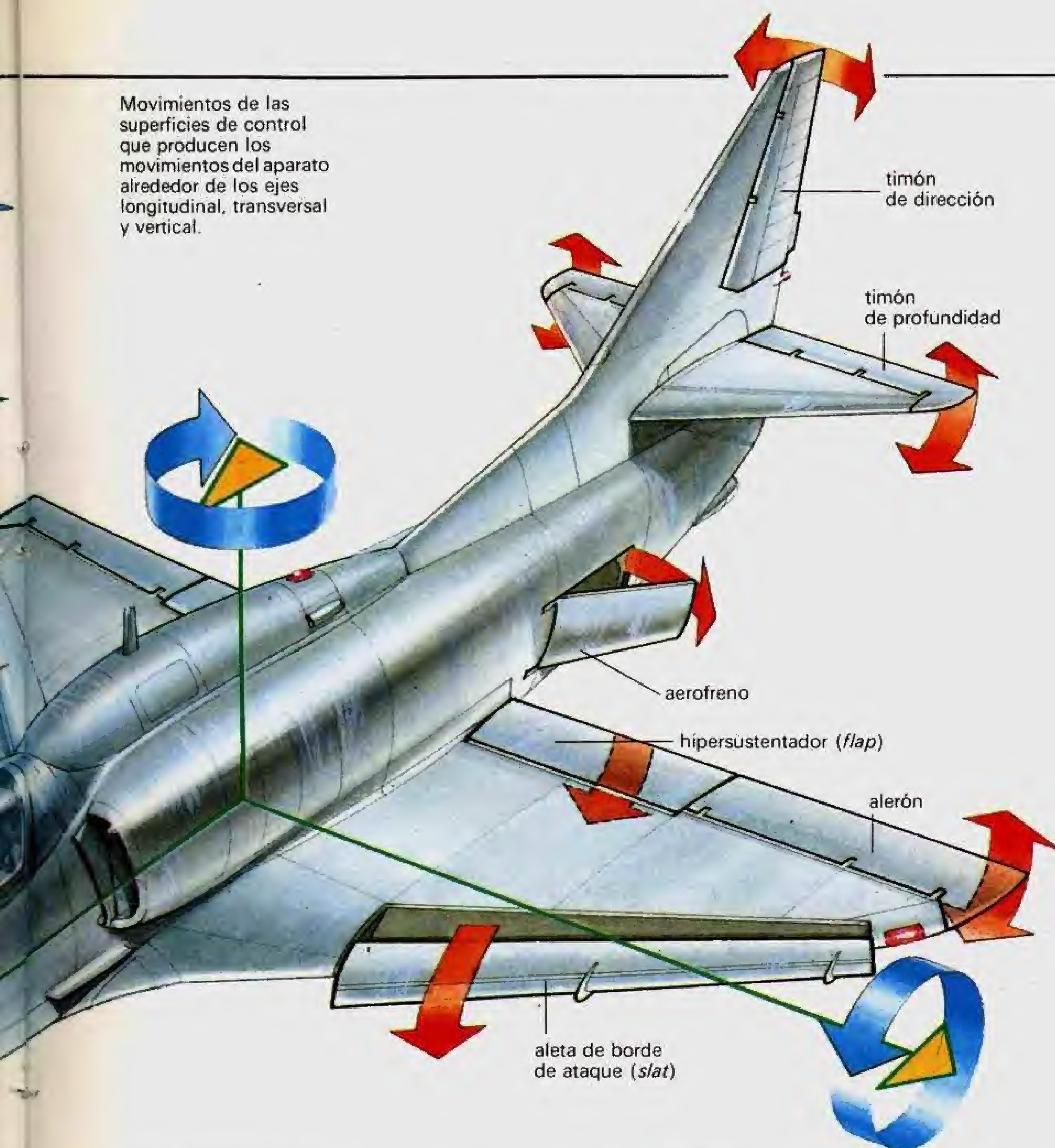

picado

Los alerones y las superficies móviles de los planos de cola, aun moviéndose en ángulos pequeños, alteran el perfil del ala y de los timones de dirección y profundidad posteriores; de esta forma, las fuerzas aerodinámicas que se producen pueden imprimir movimiento al avión. Actuación diferencial de los alerones y del timón de dirección: viraje a la izquierda; accionamiento inverso, viraje a la derecha; levantando únicamente las superficies móviles del timón de profundidad, la cola baja y, en consecuencia, el avión asciende; el picado, por el contrario, se obtiene con el movimiento inverso.

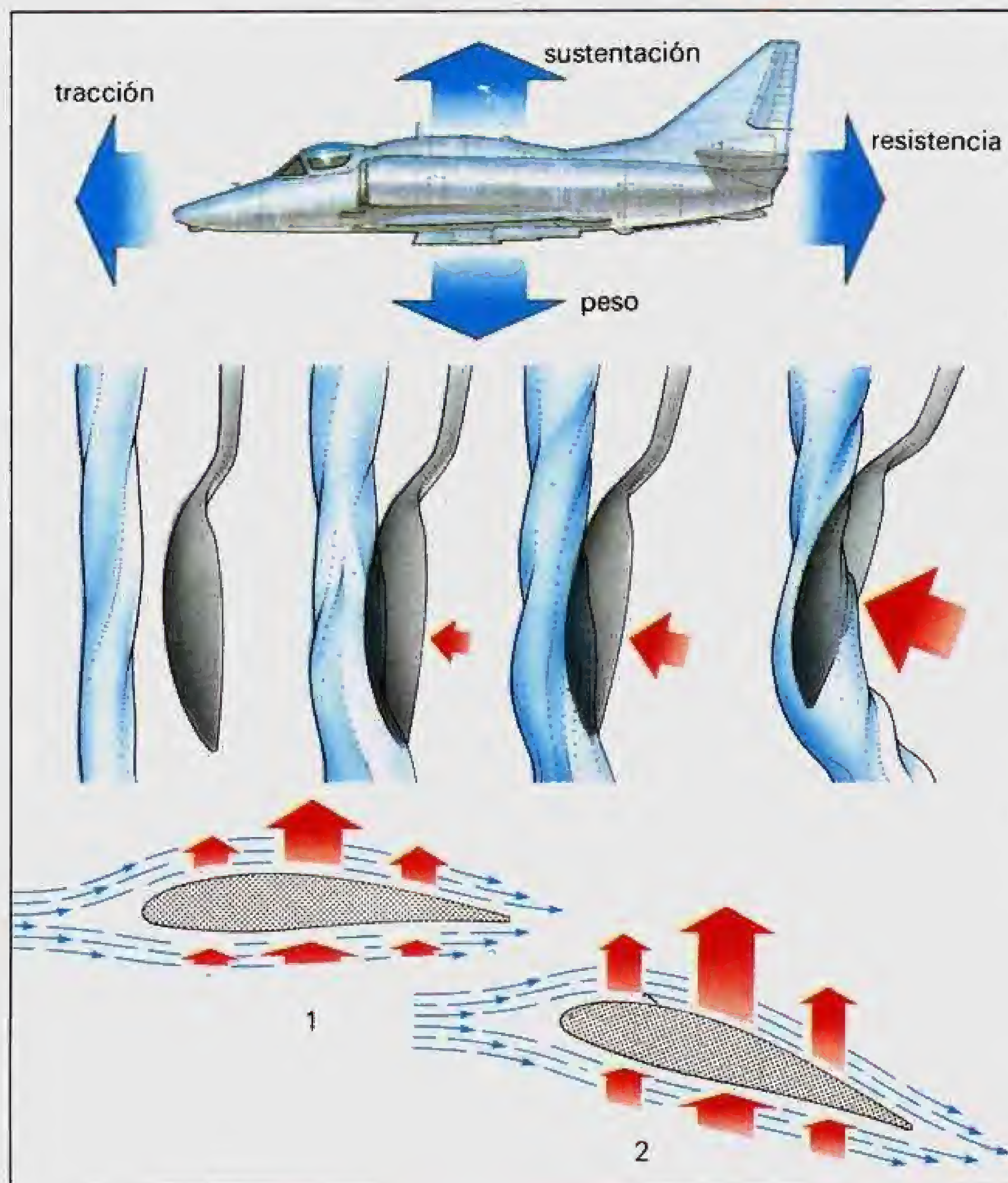

Vórtices alrededor de las alas de un modelo a escala de *Concorde* en un túnel hidrodinámico.

The World of Model Aircraft, de Guy R. Williams, Rainbird Reference Books, 1973.


Sobre un avión en vuelo estacionario actúan cuatro fuerzas: *tracción*, proporcionada por el motor; *resistencia*, debida al aire; *peso*,



Movimientos de las superficies de control que producen los movimientos del aparato alrededor de los ejes longitudinal, transversal y vertical.



como consecuencia de la acción de la gravedad, y *fuerza de sustentación,* que depende de la forma del ala. Esta, teniendo mayor curvatura en la parte superior, hace que el flujo de aire que la embiste por encima sea más veloz que el de abajo (1). Como mayor velocidad significa presión menor, el ala es en cierto modo succionada desde arriba y empujada desde abajo. Es fundamentalmente la succión la que se encarga de levantar el ala, y el efecto se acentúa si el ala se inclina (2). Puede comprobarse experimentalmente con una cuchara: introduciendo su superficie convexa en una corriente rápida de agua, se notará cómo la cuchara es "atraída" hacia la corriente, es decir, se forma una depresión debida a la curvatura que la forma de la cuchara impone a la corriente. El mismo efecto producen en el aire las curvaturas superior e inferior del perfil del ala.

forma que la velocidad sea mayor en el extradós (parte superior) que en el intradós (parte inferior), se produce una diferencia de presión que, a su vez, crea una fuerza ascendente que se denomina *fuerza de sustentación*.

El sorprendente poder de la fuerza ascensional La entidad de la fuerza ascensional —o de sustentación— puede ser medida colocando tubos de mercurio a cierta distancia uno de otro sobre la cara superior del ala de un avión. Según el tipo de ala y la velocidad del flujo de aire que se desliza sobre ella, puede originarse una fuerza de sustentación, o ascensional, igual, o incluso muy superior, al peso del propio avión.

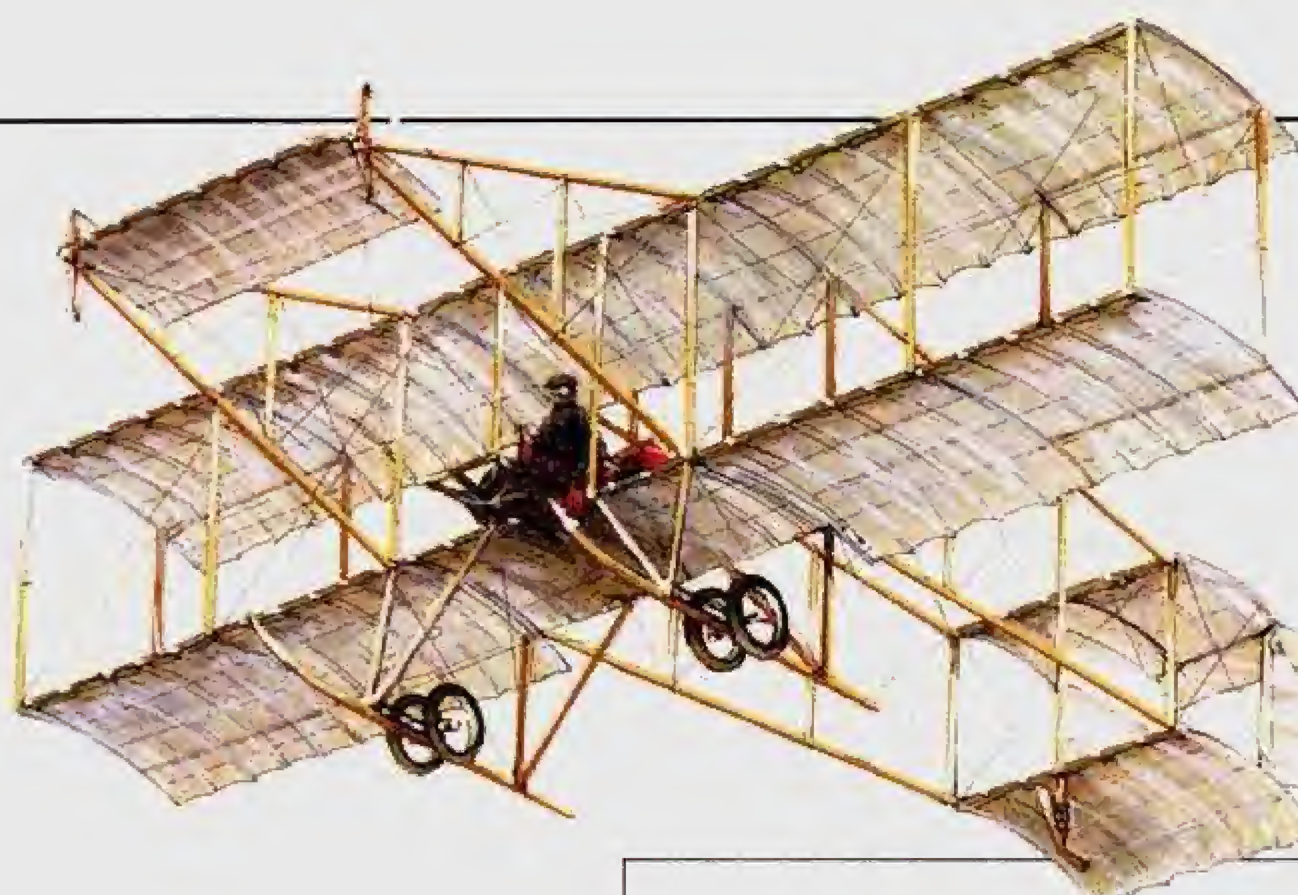
El mérito de ser el primero en haber formulado las leyes del vuelo mecánico y de haber intuido la importancia de las fuerzas aerodinámicas se debe a un inglés, sir George Cayley (1773-1857), quien expuso los principios en que se funda el aeroplano, concretando, además, todos los elementos que integran básicamente el avión moderno. En 1809 Cayley hizo volar un planeador: era la primera máquina "más pesada que el aire" que conseguía volar con un hombre a bordo. Pero el primer hombre que demostró el principio de la sustentación con un avión de dimensiones reales fue el alemán Otto Lilienthal (1848-1896), pionero de la aviación. En 1890, inspirándose en el vuelo de las aves, construyó e hizo volar una serie de planeadores, anotando cuidadosamente las características de cada vuelo, acumulando de esta forma la primera colección de datos estadísticos sobre el comportamiento aerodinámico. Lilienthal realizó experimentos con varios tipos de curvaturas alares, que después se demostraron de gran utilidad.

Aunque ya se habían intuido los principios fundamentales de la aerodinámica, faltaban aún conocimientos reales en el campo de la estabilidad y control de las máquinas voladoras. Pocos años después de la desaparición del pionero alemán hicieron su entrada en escena dos hermanos estadounidenses: Orville y Wilbur Wright. Utilizando los datos de Lilienthal, consideraron poco satisfactorio su sistema de control de vuelo por desplazamiento del peso del cuerpo y trabajaron sobre un sistema basado en el vuelo de los pájaros. Observaron que los pájaros giraban y se inclinaban en los virajes torsionando las plumas de las puntas de sus alas. Los hermanos Wright inventaron un sistema para hacer lo mismo con las puntas de las alas de su avión y perfeccionando este sistema consiguieron el primer vuelo de un avión a motor el 17 de diciembre de 1903 en Kitty Hawk, Carolina del Norte (EEUU). Su sistema de torsión de las alas se perfeccionó después con la introducción de los alerones.

Su primer avión, el *Wright Flyer*, era un aparatejo sin gracia, más parecido a una caja que a un avión, construido a base de madera y cables de acero, con alas anchas y cuadradas y dos enormes hélices de ma-

En los cazas de la I Guerra Mundial (abajo) el perfil del ala ha aumentado de espesor respecto al del avión de los hermanos Wright, pero el aumento de espesor, que ofrece la ventaja aerodinámica de una buena sustentación con menor resistencia, sólo permite cubrir el extradós y el intradós del ala, es decir, la parte superior e inferior de tela.

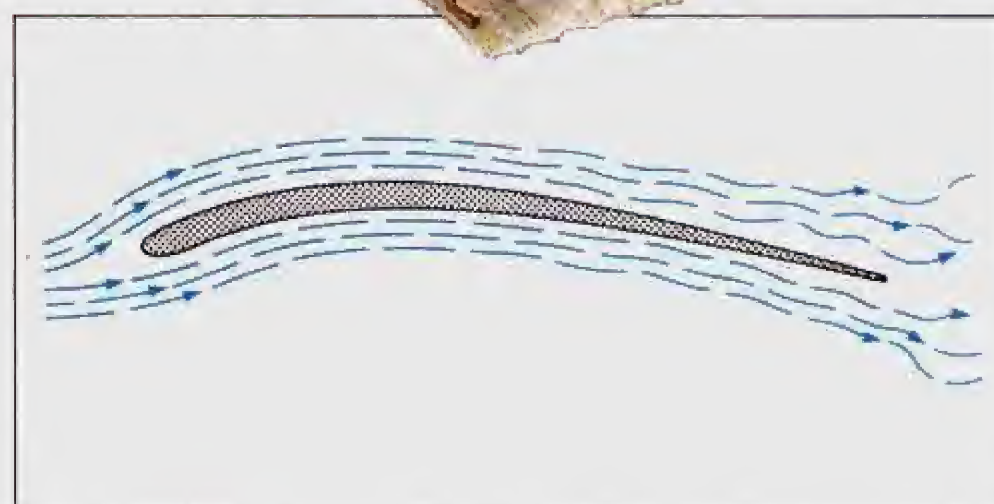
La resistencia del ala no puede basarse todavía en la rigidez del larguero que se encuentra alojado en el espesor del perfil del ala; por esta razón es necesario utilizar montantes, cables y riostras que proporcionan rigidez a la estructura, pero, como contrapartida, ofrecen una elevada resistencia al aire.

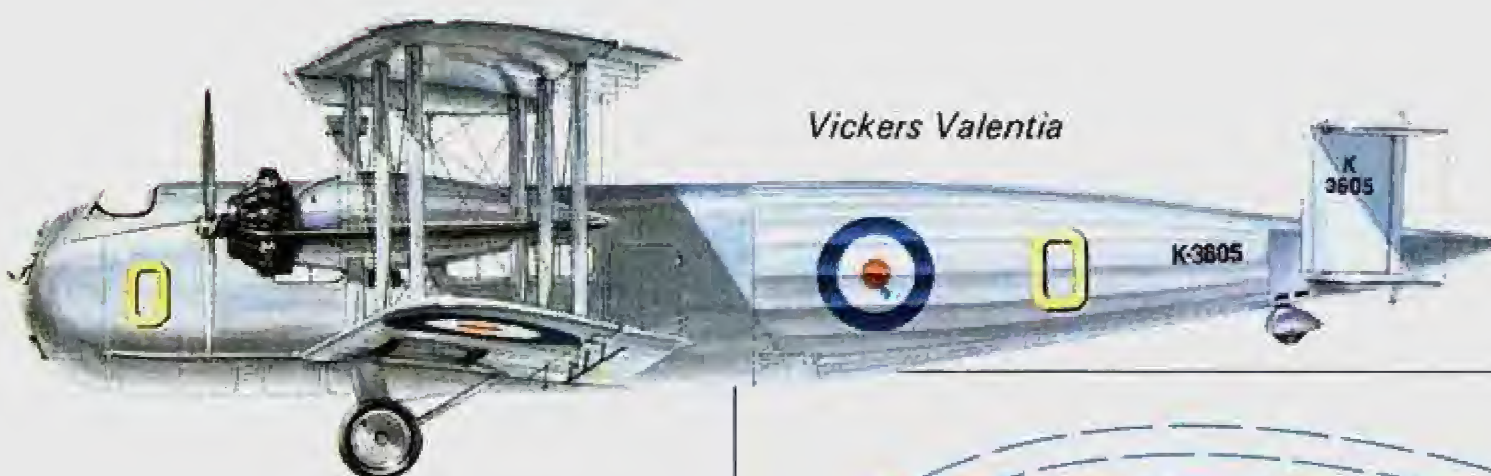


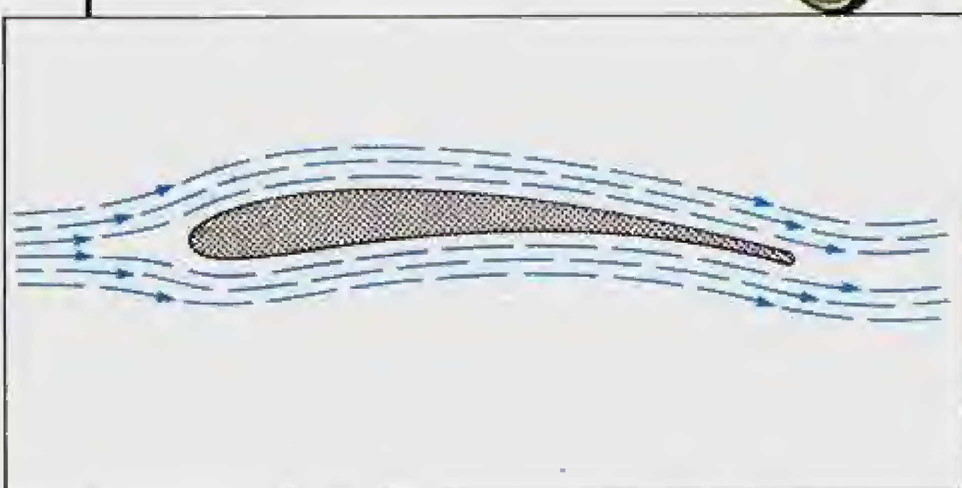
En el avión de los hermanos Wright, al lado, el perfil alar proporciona buena sustentación unida a una gran resistencia, y además es delgado: la resistencia de la estructura alar se debe al entramado de cables de acero, típico de las fórmulas biplano.

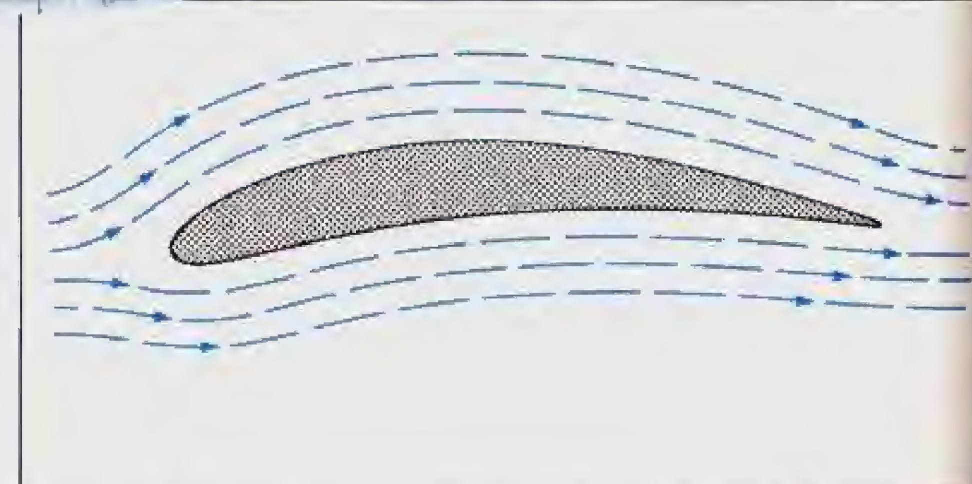
Wright Flyer
Farman











El avión pesado de principios de los años veinte emplea perfiles mejores que los precedentes, más gruesos y sobre todo mejor construidos.

Todo el borde de ataque posee un revestimiento rígido; sin embargo, el espesor es aún claramente insuficiente para eliminar los cables y montantes.

dera impulsadas por un artesanal —pero perfeccionado para la época— motor de gasolina. A los Wright lo que realmente les importaba era que el avión despegase; los delicados matices de la aerodinámica les preocupaban menos. En todos los casos, el ala resultaba ser el elemento clave de la estructura, y durante el siguiente decenio se mantuvo como el objetivo principal de los proyectistas y de la industria aeronáutica.

El estudio de las formas aerodinámicas y el desarrollo de los aviones modernos
Como ya hemos visto, las alas son los elementos que interaccionan con el aire para conseguir que un avión vuele. Se llegó a la conclusión de que, precisamente para respetar el principio de sustentación, era conveniente estudiar cuidadosamente la curvatura de sus superficies dorsal (extradós) y ventral (intradós).

En poco tiempo fueron apareciendo algunos tipos fundamentales de alas: alas gruesas con formas redondeadas en el borde anterior (o borde de ataque), que eran las mejores para ascender, pues originaban una gran sustentación, aunque no permitían velocidades elevadas; desplazando la zona de sección más gruesa hacia atrás a lo largo de la "cuerda" del ala, logró mejorarse el control de vuelo; alas delgadas, que permitían conseguir velocidades más elevadas, pero que eran de baja maniobrabilidad y exigían una notable habilidad por parte del piloto. En general fueron algunas variantes del ala gruesa, con su gran capacidad de sustentación, las que predominaron en la aviación hasta los años treinta.

La búsqueda de una mejor forma aerodinámica del fuselaje, después del diseño del ala, fue quizá el aspecto más importante de la evolución en la construcción de aviones, aspecto que durante los primeros tiempos quedó en gran parte al margen de las investigaciones. La mayor parte de los aviones (hasta los años veinte) presentaban todo tipo de superficies cuadradas y frontales a la fuerza del viento; además, estaban lastrados por todas partes con montantes, riostras y cables, necesarios tanto para mantener unidos los distintos elementos del aparato, como para accionar las superficies de control. Incluso cuando se empezaron a construir fuselajes capaces de dar cabida en su interior, primero, al piloto, después a los pasajeros y así sucesivamente al correo y a otros tipos de carga, eran estructuras más parecidas a cajas atadas a las alas que a un todo integrado armoniosamente.

En 1931 Alemania construyó un avión de línea, el *Junkers G-38*, con un ala tan gruesa que los pasajeros podían sentarse en su interior. Fue el mayor avión de despegue y aterrizaje en pista de su época, ya que los hidroaviones del momento tenían aún dimensiones mayores.

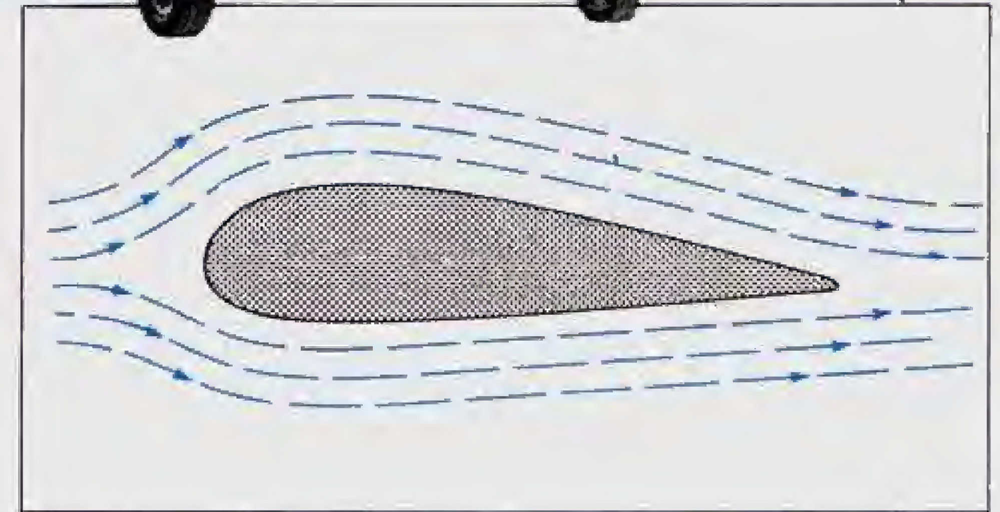
La I Guerra Mundial dio un impulso decisivo a la evolución de los aviones. Se realizaron aviones relativamente ligeros con motores cada vez más potentes y seguros, que permitieron conseguir velocidades cada vez más altas: eran los biplanos de combate —como los *Camel*, los *Fokker*, los *Albatros*, etc.—, aviones que se convirtieron en protagonistas de toda una época de la historia de la aviación. Después llegaron los primeros bombarderos, pesados,



En este trimotor de finales de los años veinte y principios de los treinta (abajo) se ha introducido el perfil grueso dotado de gran capacidad de sustentación, pero que todavía no permite velocidades elevadas. Ello hace posible, por primera vez, utilizar el recubrimiento del ala, que en adelante será metálica, para darle resistencia; por fin desaparecen cables y montantes. Pero la aerodinámica del fuselaje es aún burda, y sobre todo no se ha cuidado la de los encastres de las alas con el fuselaje.

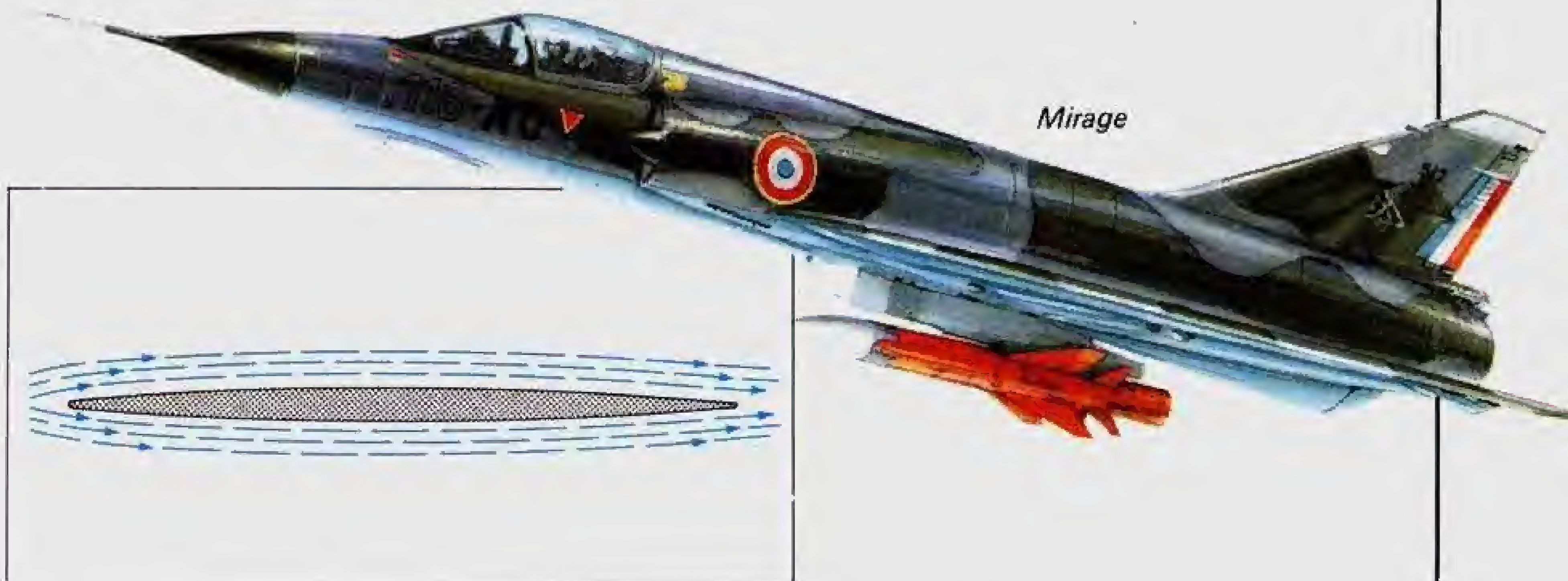


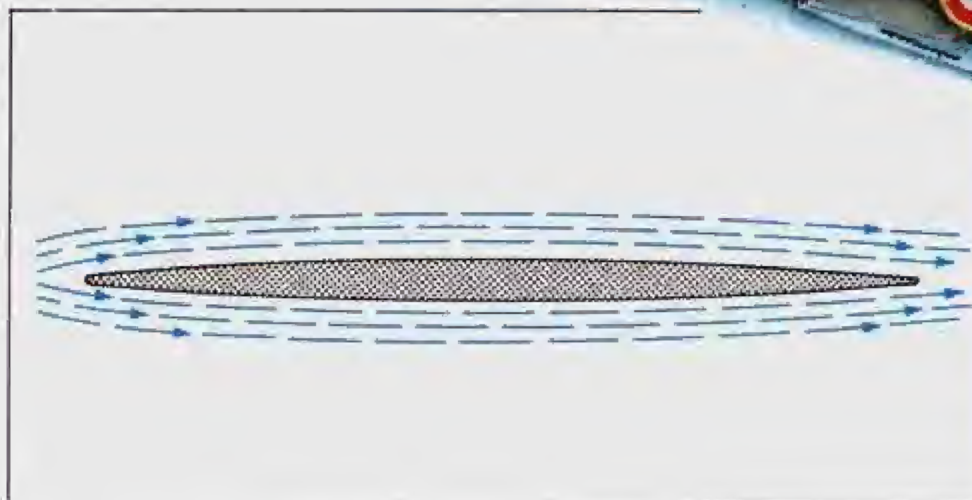
Trimotor *Ford*



En los cazas de la II Guerra Mundial (uno de ellos es el *Spitfire* que figura a la izquierda— se alcanza la máxima perfección de la aerodinámica subsónica (velocidad por debajo de la del sonido).

A la derecha, ala de planta elíptica, perfil biconvexo asimétrico relativamente delgado, construcción enteramente metálica y gran equilibrio entre el diseño del ala y el del fuselaje.





Para el avión supersónico, el *Mirage* de la derecha, son necesarios perfiles "laminares" muy delgados. La resistencia necesaria en el ala exige nuevas soluciones, como el fresado integral. Lo mismo ocurre con el encastre del ala y, sobre todo, con la toma de aire de los motores.

enormes, pero de cuya evolución aerodinámica y estructural iba a depender principalmente el sucesivo avance de los años veinte y treinta.

En 1933 se proyectó para las *United Airlines* de la compañía *Boeing* de Seattle (EEUU) un avión completamente distinto y revolucionario, el *Boeing 247*. Era un bimotor con una única y larga ala y un dispositivo de aterrizaje que se replegaba hacia arriba de modo que no resultase visible en vuelo. El avión era de construcción enteramente metálica, y todos los cables de sostén y de mando se ocultaban en su interior. Respecto a la mayoría de los aviones que volaban en aquellos tiempos, era verdaderamente revolucionario, y podía volar desde Nueva York a California con diez pasajeros a bordo en menos de veinte horas.

El *Boeing 247* fue un pionero de la aerodinámica. Sin embargo, no tenía la capacidad de carga que se esperaba y fue pronto sustituido por otro avión muy parecido, el *Douglas DC-1*. Proyectado por Donald Douglas, un nombre nuevo en este campo, el *DC-1* podía transportar cuatro pasajeros más que el *B-247*, con los mismos costos operativos. El *DC-1* pronto dejó paso al *DC-2*; después apareció un avión verdaderamente sorprendente, el *Douglas Sleeper Transport* o *DST*. Por primera vez un avión ofrecía confort: la tripulación servía comidas calientes, e incluso había literas para que los pasajeros pudiesen descansar durante las largas horas de vuelo entre Nueva York y Los Angeles. En la versión de la época, el *DST*, básicamente un *DC-2* con el fuselaje más amplio, podía transportar veintiuna personas. El *DC-3*, así se le bautizó, ha sido probablemente el avión más famoso que jamás se haya construido, y el que ha sobrevivido durante más tiempo, permaneciendo aún hoy en servicio.

Después de la II Guerra Mundial, que había contemplado la aparición de aviones ya perfeccionados desde el punto de vista estructural, aerodinámico y de la propulsión, el advenimiento de los motores a reacción aportó ulteriores y revolucionarios cambios en el campo de la aerodinámica práctica. La enorme potencia de los reactores podía prácticamente "lanzar al aire" los aviones, y el predominio de alas todavía relativamente gruesas de gran sustentación dejó paso al empleo de alas parecidas a hojas de cuchillo, con perfiles mucho más finos, que podían aprovechar mejor el potencial de velocidad de un reactor. De esta manera el estudio aerodinámico se convirtió en algo de gran importancia, ya que los aparatos de transporte de la nueva generación podían volar al doble de la velocidad que los antiguos modelos y a altitudes insospechadas hasta entonces.

En realidad, la cuestión es más profunda. El paso de la aerodinámica subsónica a la supersónica es cualitativo; en la primera, se considera al aire como un gas incompresible (lo que, matemáticamente, hace que su estudio no difiera del de la hidrodinámica, con una larga tradición); en la segunda, el aire se considera compresible. Así, las ecuaciones de la aerodinámica compresible son diferentes y tienen coincidencias con las aplicadas en la acústica.

Véase **Avión; Avión, estructura y producción; Avión, motor de; Avión, proyecto de; Planeador**

Aeromodelismo

Lejos de ser sólo instrumentos de un *hobby* que para algunos resulta apasionante, los modelos de aviones han evolucionado a la par con algunos de los más importantes desarrollos tecnológicos de la aviación, incluyendo el invento mismo del avión. En 1804 sir George Cayley, un inglés con ingenio de pionero, fabricó un modelo de planeador que anticipaba correctamente los principios de construcción de los aviones modernos; con la experiencia adquirida, en 1809 pudo construir un prototipo de tamaño natural que superó con éxito, aunque no sin sobresaltos, la prueba del vuelo tripulado. Un siglo más tarde, los hermanos Wright, que trabajaban de manera análoga, experimentando sobre modelos antes de probar en aparatos de tamaño real, hicieron volar varios modelos en un túnel de viento antes de construir el primer avión del mundo equipado con motor.

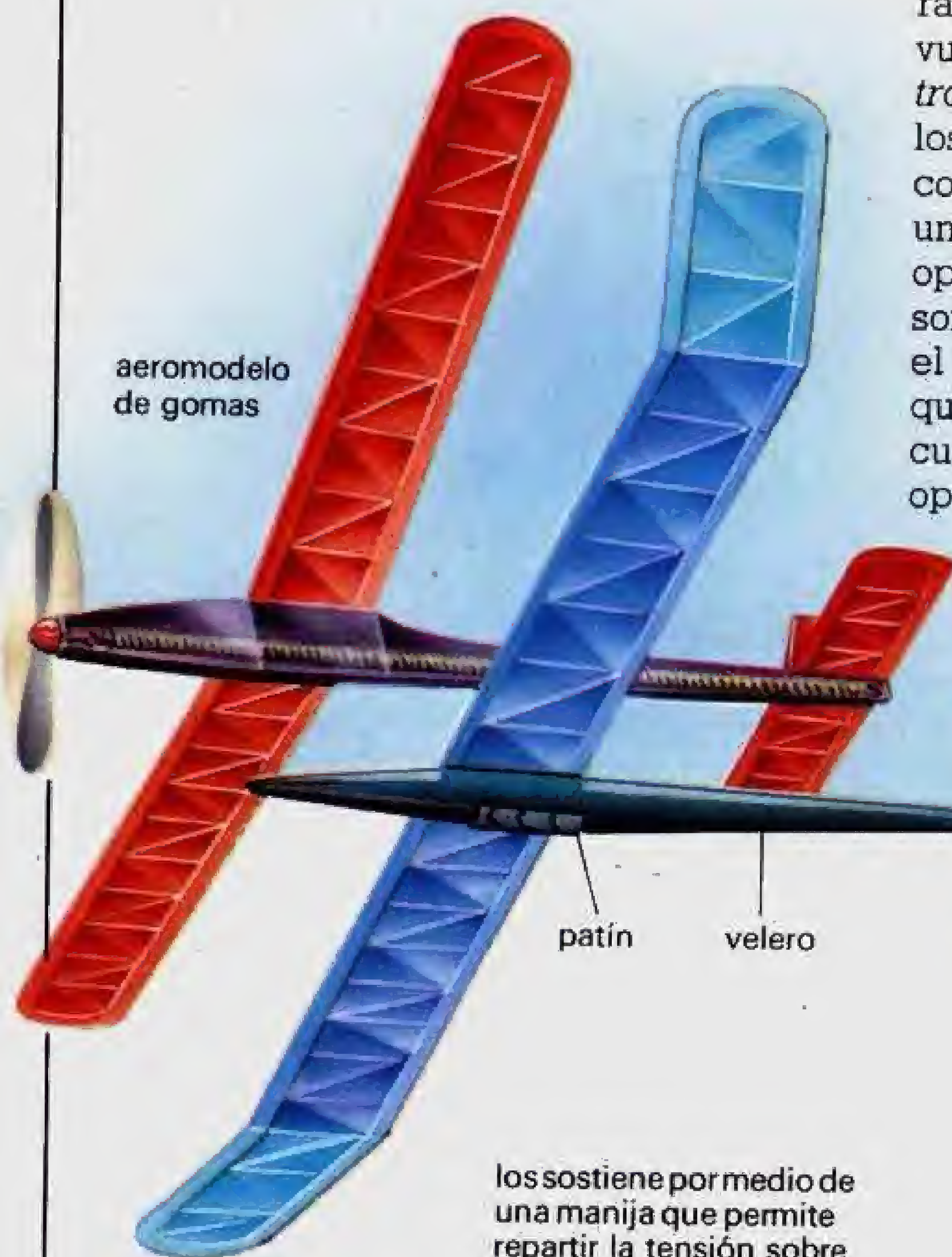
Actualmente los modelos a escala de aviones pueden hacer cualquier cosa excepto vuelos tripulados. Pueden despegar, aterrizar, efectuar evoluciones acrobáticas, combatir en vuelo, servir de blanco en maniobras militares; en ocasiones se utilizan en operaciones que comportarían alto riesgo para aviones con tripulación. Con la ayuda del control por radio, pueden maniobrar con extraordinaria precisión.

El camino entre los inicios y hoy está lleno de estudios, diseños, construcciones, vuelos experimentales, fracasos y éxitos. Los primeros modelos funcionaban con tiras de goma que había que enrollar cuidadosamente (algo parecido a "cargar" un muelle) para obtener una breve emisión de energía seguida de un largo vuelo, planeando de nuevo hacia tierra. Sin embargo, eran ya modelos que sorprenderían por la ligereza y la solidez de su construcción. Hechos con madera de balsa, cuerdas de piano y papel de seda, eran tan ligeros que, no obstante la corta duración de su vuelo con "motor" de gomas, no eran infrecuentes, con el aire en calma, vuelos planeados circulares de media hora e incluso de tres cuartos de hora.

Al desarrollarse los modelos con motor, la construcción y el vuelo de los mismos entraron en una nueva era. Los primeros motores eran minúsculos dispositivos de un solo cilindro, que quemaban gasolina u otro combustible. Tenían energía suficiente para transportar un aeromodelo durante unos centenares de metros de vuelo libre; entonces, un dispositivo de tiempo cerraba el abastecimiento de combustible y el modelo volvía planeando hasta tierra.

Existen cuatro tipos principales de modelos de aviones: de vuelo libre, de vuelo controlado por cables, controlado por radio, y maquetas de exposición que no vuelan. Actualmente, los *modelos radiocontrolados*, o modelos R/C, son, con mucho, los más populares. Su vuelo es controlado como el de un avión verdadero gracias a un pequeño dispositivo manejado por el operador. Los modelos de vuelo circular son "pilotados" por un operador mediante el manejo de una serie de cables dobles que controlan los movimientos del modelo cuando éste vuela en círculo alrededor del operador.

Entre todos los *modelos de vuelo libre* (modelos que no son controlados por la persona que está en tierra), quizá los más interesantes sean los veleros sin motor. Estos reflejan de manera más precisa e inmediata las fuerzas que actúan sobre cualquier avión, permitiéndoles volar, pues, como los aparatos de escala real; están en contacto con el aire y sometidos a los mismos



La potencia de los motores de explosión es tan grande, que los aeromodelos de esta categoría pueden volar largas distancias. El modo más sencillo y económico de controlar el vuelo consiste en hacerlos dar vueltas sujetos por dos finos cables de acero. El aeromodelista los sostiene por medio de una manija que permite repartir la tensión sobre ellos según la maniobra que desee efectuar. Esta diferencia de tensión se transforma, gracias al mecanismo que se ve en la parte inferior del avión (pero que en realidad está dentro), en el movimiento del timón de profundidad. Así, el modelo puede subir y bajar, efectuando las acrobacias indicadas debajo.

hechos: corrientes, depresiones, torbellinos, etc. También en vuelo a baja altura, después de un lanzamiento manual, el velero demuestra de manera evidente ser un verdadero avión, que crea su propia fuerza ascensional y responde instantáneamente a las corrientes de aire.

Equipado con un control por radio, un velero puede aprovechar las corrientes térmicas —columnas de aire caliente que se elevan desde zonas del terreno recalentadas por el sol— para volar a notable altura. El récord de duración de vuelo de un modelo de velero, conseguido por el noruego Einar Myr, es de 19 horas y 19 minutos, tiempo que se puede comparar con la mayor duración de un vuelo intercontinental de un avión de tamaño real.

Para iniciarse, el mejor modelo para un principiante es una "tabla voladora", con un ala hecha de planchas de madera de balsa a la cual va fijado directamente el motor. Los cables de control son de manejo sencillo. Este modelo simple, aunque vuela lentamente, es lo bastante resistente como para sobrevivir a los impactos sufriendo daños relativamente leves. A partir de aquí, el constructor de modelos puede llegar a aviones con mandos, timón, deflectores, rueda delantera móvil e incluso frenos controlados por radio.

El perfil y la estructura de las alas son muy importantes en vuelo con veleros. Por ejemplo, un modelo lanzado desde el nivel del terreno con el método de "desenganche en altura" requiere un tipo de alas diferente del de otro que sea lanzado desde una pendiente. Un modelo de velero remolcado vuela aproximadamente a unos 40 km/hora; uno con salida desde una pendiente puede llegar a 100 km/hora o más si encuentra vientos suficientemente intensos. Todo esto requiere habilidad de "pilotaje", a la vez que enseña mucho sobre la teoría aerodinámica.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica**



Con un transmisor es posible dirigir muchos "mandos" de control a bordo de un aeromodelo. Por ejemplo, el control de dirección, de profundidad y los alerones. En el modelo que figura sobre estas líneas, una antena que va desde la cabina hasta el timón de dirección recibe las órdenes para los controles indicados. Incluso en algunos modelos es posible controlar la entrada y la salida del tren de aterrizaje, y otros llevan a bordo una cámara fotográfica que dispara dirigida desde tierra. Con este tipo de mando, el modelo puede efectuar las maniobras reguladas por la cinta que se encuentra debajo.

A la izquierda, el aeromodelista sujeta con la mano un extremo de un hilo largo, de 50 a 100 metros. El otro extremo del hilo está fijado al patín de aterrizaje del modelo por medio de un gancho y está precedido por una banderita sujeta al hilo 50 cm antes del gancho. Los dos aeromodelistas corren juntos hasta que el que sujeta el modelo observa que se ha alcanzado la velocidad de sustentación, y lo suelta. El otro sigue por inercia, pero el cable se frena por la resistencia del aire sobre la banderita, y el gancho se separa del patín.

Aeropuerto

La pradera de Hoffmann, un campo de Dayton, en Ohio (EEUU), que tomaba el nombre de su propietario, un amigo de Wilbur y Orville Wrigth, fue probablemente el primer aeropuerto del mundo: el lugar donde los hermanos Wrigth experimentaron su avión *Flyer*, volando infinidad de veces sobre aquella pradera.

Diez o quince años después del vuelo del *Flyer* las cosas apenas habían cambiado. Los aviones, que aún eran ligeros y poco potentes, se enfrentaban en cada ocasión con un reto: despegar con buenas condiciones de viento, para lo cual no precisaban pistas especiales. Los aviones, provistos de trenes de aterrizaje todavía rudimentarios, rodaban con facilidad sobre tierra batida y hierba. Charles A. Lindberg, piloto por entonces del servicio postal, podía describir cualquier montículo o agujero del *Lambert Field* de St. Louis, ya que más de una vez se había topado con ellos.

Por consiguiente, hasta finales de los años veinte los aeropuertos se reducían, en la práctica, a superficies más o menos lisas, "preparadas" para permitir el despegue y aterrizaje de los aviones, dotados únicamente de elementales infraestructuras para la asistencia de aviones y pasajeros.

Pero en los años treinta, cuando aviones más grandes y pesados y con motores más potentes hicieron de la aviación una empresa comercialmente viable, los aeropuertos empezaron a cambiar de aspecto. Ya con los primeros cambios perdieron su apariencia "campestre"; se les dotó de "auténticas" pistas y de los empalmes necesarios, se edificaron áreas de estacionamiento para los aviones y se delimitaron y dotaron zonas destinadas a los distintos servicios, cada vez más y más complejos. El logro de las comunicaciones por radio entre los aviones en vuelo y tierra, la creación de las primeras grandes compañías para el transporte aéreo comercial y el progresivo aumento del tráfico aéreo hicieron surgir en torno a las grandes ciudades aeropuertos de dimensiones y capacidad cada vez mayores.

El modelo básico de todos los aeropuer-



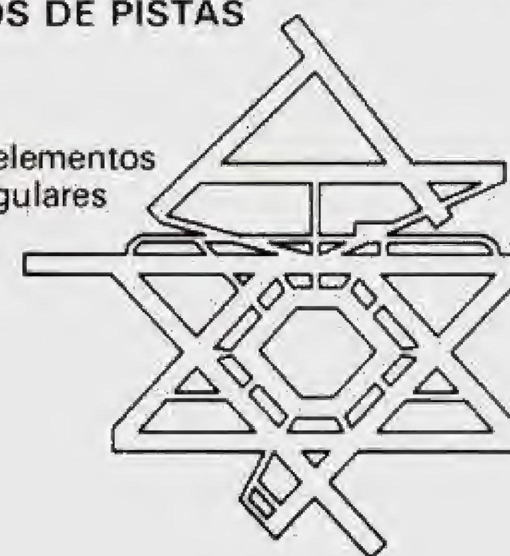
tos del mundo es fundamentalmente el mismo. Los elementos mínimos son los siguientes: un *área de estacionamiento*, es decir, una zona de aparcamiento donde los aviones puedan detenerse para las operaciones de carga y descarga. De aquí salen las *pistas de rodadura* que conducen a las *pistas de despegue*, que consisten en largas y rectas vías pavimentadas, parecidas a tramos de autopista, desde las que los aviones despegan y en las que aterrizan.

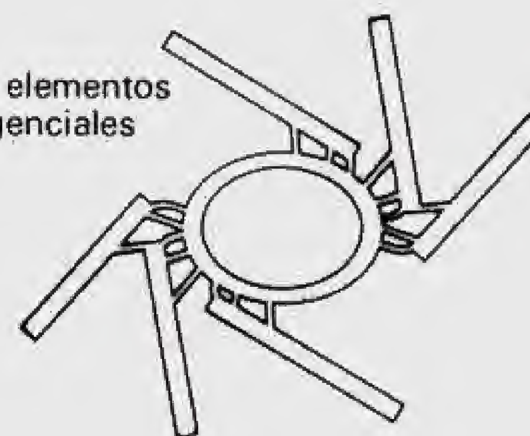
La orientación de un aeropuerto está condicionada, entre otras cosas, por la dirección de los vientos dominantes en la zona en la que está ubicado. Actualmente, dada la configuración de los aviones de línea, estos no se ven afectados por vientos

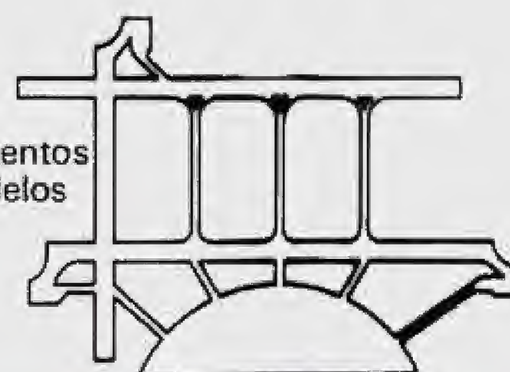
El proyecto de un aeropuerto es algo extremadamente complejo, debiéndose lograr un conjunto armonioso entre la infraestructura de vuelo y la de servicios. Las pistas que permiten el despegue y aterrizaje de los grandes aviones internacionales miden hasta cuatro kilómetros y deben ser más de una, no sólo para permitir las operaciones de varios aviones a la vez, sino, y sobre todo, para que el aterrizaje y despegue de los aviones pueda hacerse como conviene más, de cara al viento.

La sustentación y resistencia al avance del avión son proporcionales al cuadrado de la velocidad respecto al viento, dependiendo también de otros factores, como la forma del ala y el ángulo de ataque. Cuando se vuela contra el viento, la velocidad de éste se suma a la del avión, consiguiéndose mayor sustentación y resistencia, a igualdad de otros factores. Por ello, los aviones suelen aterrizar, y sobre todo despegar, contra el viento.

TIPOS DE PISTAS







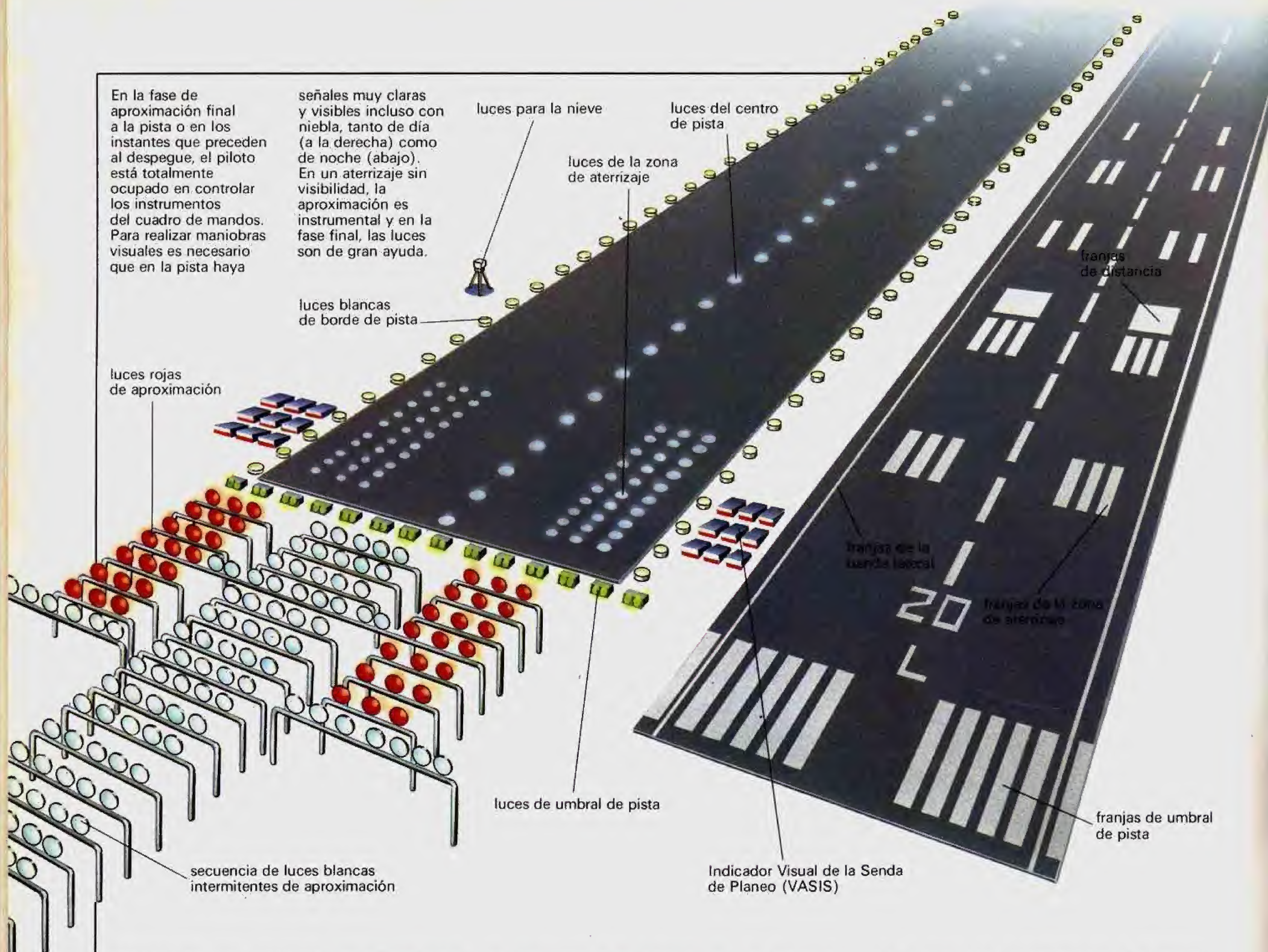
cuerpo principal de la terminal

edificio satélite

torre de control

aparcamientos

oficinas administrativas



En la fase de aproximación final a la pista o en los instantes que preceden al despegue, el piloto está totalmente ocupado en controlar los instrumentos del cuadro de mandos. Para realizar maniobras visuales es necesario que en la pista haya señales muy claras y visibles incluso con niebla, tanto de día (a la derecha) como de noche (abajo). En un aterrizaje sin visibilidad, la aproximación es instrumental y en la fase final, las luces son de gran ayuda.

ocasionales que, soplando transversalmente a la pista, pueden sin embargo crear dificultades a aviones más ligeros y pequeños; pero como medida de seguridad se impone el despegue y aterrizaje "contra el viento": por ello, en todo aeropuerto hay, al menos, una pista de despegue orientada en la dirección de los vientos dominantes.

En los últimos años, la aparición de los *Jumbo jet* ha impuesto la necesidad de alargar las pistas y, actualmente, los principales aeropuertos deben poseer pistas de hasta cuatro mil metros de longitud para poder hacer frente a las exigencias presentes y futuras.

La pavimentación de las pistas puede ser de dos tipos: de tipo "rígido", por ejemplo con bloques de cemento interconectados, o de tipo "flexible", de asfalto o de algún material parecido. La superficie de la pista presenta una serie de ranuras para facilitar el drenaje del agua de la lluvia. En cada pista se instalan además varios tipos de luces: luces laterales en los bordes y luces integradas en el pavimento. Las luces de las pistas de despegue son amarillas en el tramo central y verdes en los extremos. Para facilitar las maniobras, especialmente el aterrizaje, suelen instalarse lámparas estroboscópicas de luz muy brillante que guían a los pilotos hacia las pistas y que son muy necesarias en caso de mal tiempo. Las luces de las pistas de rodadura son azules. Además, desde la torre de control se emiten destellos intermitentes de color verde y blanco.

Según la colocación de las pistas y de las áreas de estacionamiento (junto a las cuales se levanta el resto de edificaciones del aeropuerto), los aeropuertos adoptan distintas configuraciones. Puede haber aeropuertos con pistas paralelas, cruzadas perpendicularmente, con elementos tangenciales o incluso en estrella.

Prescindiendo de las dimensiones, todo aeropuerto debe sujetarse en su diseño, construcción y funcionamiento a normas técnicas y funcionales muy estrictas. Estas normas son dictadas y controladas por la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil), que ha establecido una clasificación de los aeropuertos civiles, de acuerdo con la cual son de de siete "clases" distintas (codificadas de la A a la G), definidas según la longitud y anchura de las pistas y conforme a su capacidad para soportar en condiciones de seguridad un determinado peso.

Si la pista de despegue es el elemento caracterizador de un aeropuerto, su *terminal* determina su importancia en cuanto a capacidad para absorber un cierto flujo de tráfico. En la terminal confluye toda la actividad de distribución de los pasajeros, y cuanto mayor sea la velocidad con que se desarrollen todas las operaciones de embarque y desembarque, tanto mayor será el número potencial de pasajeros que puede recibir el aeropuerto.

Otro elemento característico de un aeropuerto es la *torre de control*, que dispone de todo lo necesario para el control del tráfico aéreo (comunicaciones por radio, seguimiento por radar, instalaciones para situaciones de emergencia, etc.); también cuenta con una estación meteorológica que aporta datos que es necesario conocer antes de autorizar el vuelo y suministra informes a los pilotos y a la tripulación sobre las condiciones atmosféricas de la zona y de la ruta que deberá seguir durante el vuelo.

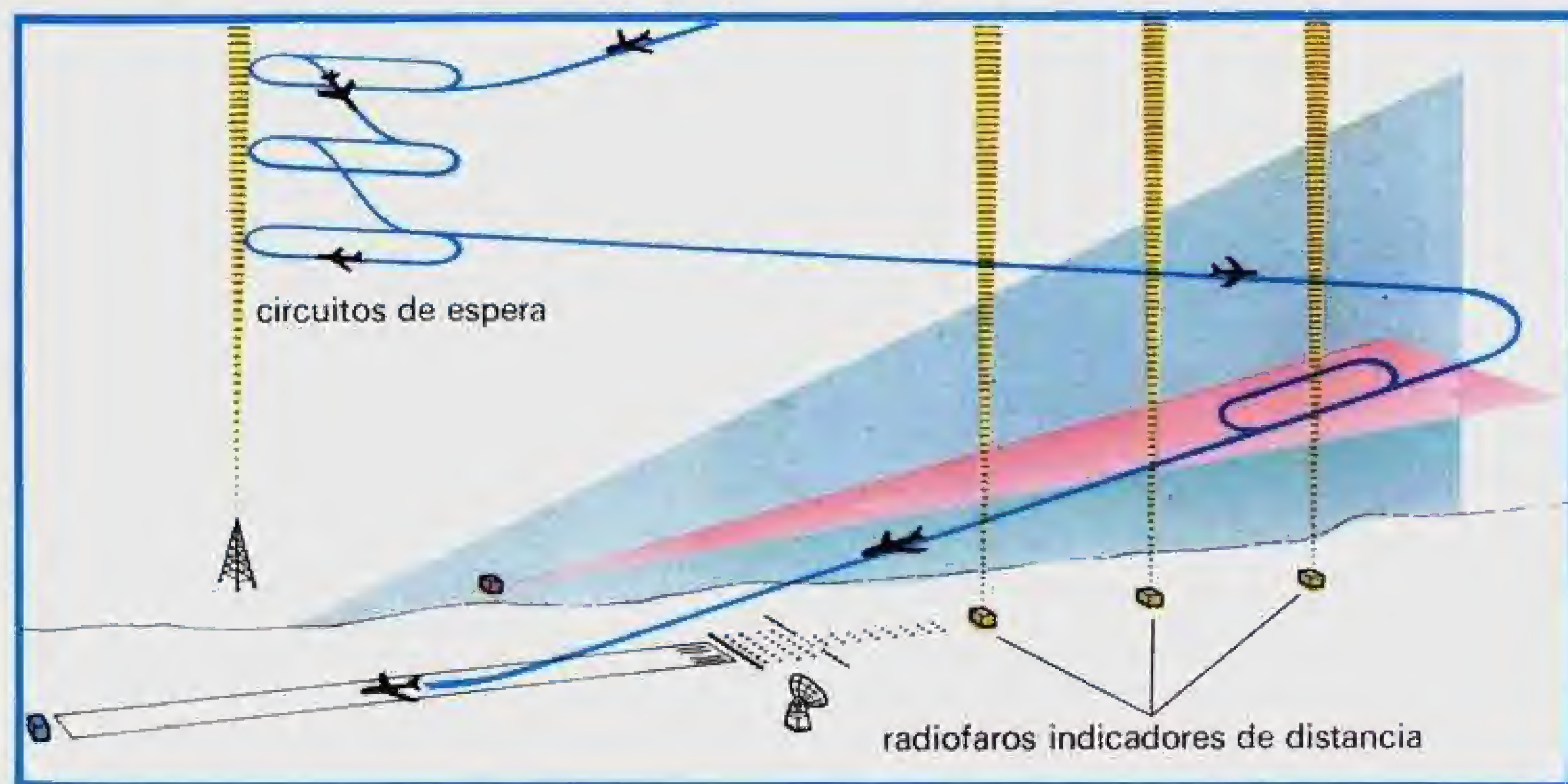
En el aeropuerto debe haber, además, instalaciones que permitan el reabastecimiento rápido de combustible, tanto a los aviones que tienen en él su punto de partida como a los que hacen escala, los nece-

sarios equipos contraincendios y quitanieve, como también talleres de mantenimiento con todo lo necesario para las revisiones periódicas y para las reparaciones ocasionales. Actualmente los mayores aeropuertos del mundo emplean, a través de las compañías aéreas que han establecido en ellos su sede, sistemas de reserva, de control y clasificación (incluso de las mercancías) completamente automáticos, es decir, confiados a sistemas electrónicos. En las terminales tienen cabida todos los servicios aeroportuarios: salas de espera, restaurantes, bares, tiendas, instalaciones hoteleras, aduana, etcétera.

Un moderno aeropuerto de tráfico internacional es, por lo tanto, algo así como una "ciudad en miniatura", y su gestión y mantenimiento requieren grandes sumas de dinero. Toda la infraestructura y los servicios de un gran aeropuerto comportan una considerable población activa, como ocurre en el *Kennedy* de Nueva York o el *O'Hara* de Chicago, cuyo funcionamiento requiere miles de empleados presentes las veinticuatro horas del día.

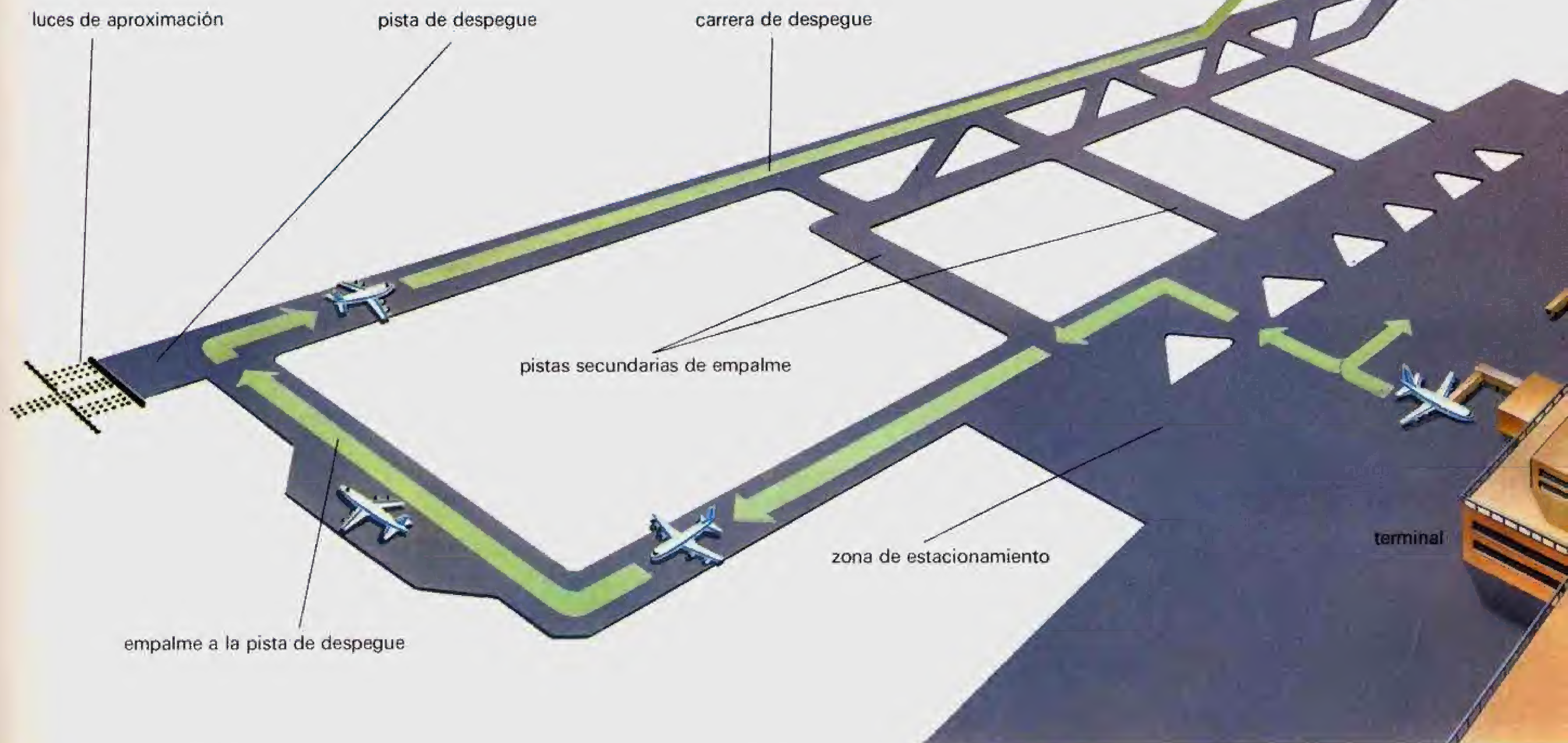
En las grandes ciudades como Nueva York, Londres, París o Tokio, con el correr de los años y el progresivo aumento del tráfico aéreo, se ha agravado el problema del transporte en tierra desde y hacia el aeropuerto. Debido a las cada vez mayores extensiones de terreno que se necesitan, y a razones ecológicas (contaminación, ruidos, etcétera), ha sido necesario construir los aeropuertos a cierta distancia de sus respectivas ciudades. Esto ha originado la implantación de servicios aéreos de enlace, realizados con aviones de poca capacidad o con helicópteros, para el transporte de los pasajeros procedentes de las zonas cercanas o de la ciudad misma. Para estos cometidos se está considerando desde hace ya algunos años la posibilidad de edificar pequeños aeropuertos "urbanos" que sirvan de base para estos servicios de enlace entre la ciudad y su aeropuerto, que así podría estar incluso a un centenar de kilómetros de la misma.

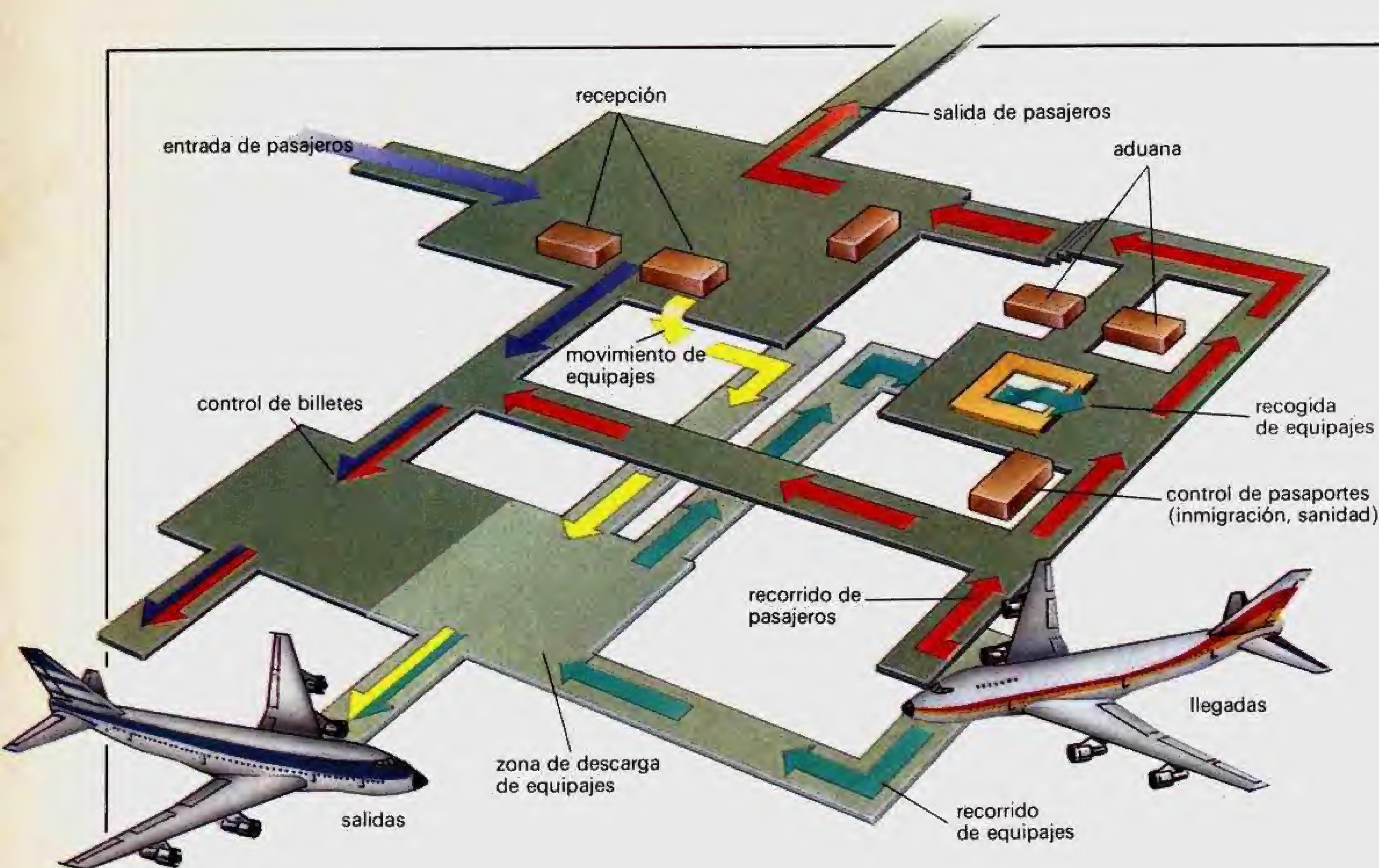
Sin embargo, no se ha logrado aún una solución satisfactoria para el problema del



La aproximación a la pista, la espera y el descenso final pueden convertirse en situaciones muy peligrosas en caso de visibilidad escasa o nula. A la izquierda puede verse la ayuda que representa en estas situaciones el ILS o Sistema de Aterrizaje Instrumental. El haz de ondas de radio de la izquierda proporciona las referencias para los circuitos de espera; los tres haces verticales alineados con la pista deben ser atravesados con altitudes determinadas para que al final el avión toque la pista en el punto adecuado y en la situación de vuelo correcta.

Abajo pueden verse los movimientos que el aparato debe realizar para ir de la terminal a la cabecera de pista, desde la cual, tras recibir el permiso de la torre de control, podrá iniciar la carrera de despegue. Dentro de un espacio prefijado, el piloto debe estar en condiciones de levantar el morro del avión e iniciar el vuelo. Los puntos a partir de los cuales el avión no puede tomar tierra o despegar están señalados muy claramente por marcas en las pistas.





Esquema del flujo de pasajeros en una terminal. En su interior deben poder moverse con fluidez miles de pasajeros que parten, llegan o están a la espera de su vuelo, y deben poder desarrollarse con rapidez y eficacia todos los trámites necesarios para los vuelos nacionales e internacionales, continentales o intercontinentales. Los controles de aduana, y ocasionalmente los sanitarios y de seguridad, tienden a alargar el tiempo de espera, y es necesaria una perfecta organización para evitar que las demoras en tierra anulen las ventajas de la velocidad del transporte aéreo, especialmente en los recorridos de corta duración. Los servicios de una terminal son numerosos y van desde los de bar y restaurante a los de banco y cambio de moneda, tiendas libres de impuestos, centros médicos, etc.

transporte de pasajeros, sobre todo cuando el núcleo o núcleos urbanos a los que se da servicio están muy alejados. Por ejemplo, en el aeropuerto *Dallas-Fort-Worth*, en Texas, que es uno de los más modernos del mundo, se emplean trenes monorraíl para llevar a los pasajeros hasta las cercanías del aeropuerto, mientras que en Nueva York se ha enlazado a la red del suburbano una línea rápida que lleva a los pasajeros hasta una terminal en las cercanías del aeropuerto *Kennedy*, donde un autobús completa el trayecto ciudad-aeropuerto.

Por otro lado, la naturaleza y el volumen del tráfico aéreo de los mayores aeropuertos han llevado a excluir de ellos casi totalmente el tráfico no comercial, es decir, los vuelos pertenecientes a la aviación privada o deportiva, que representa una parte muy característica del panorama aeronáutico estadounidense. Y no sólo por cuestión de volumen: las diferencias de velocidad entre los pequeños aparatos de hélice y los enormes reactores de línea han convertido en necesaria esta segregación como medida de seguridad. En los aeropuertos en los que la exclusión no es total y afecta sólo a determinadas horas del día, las de mayor tráfico, se ha implantado un sistema de reserva que obliga a todo avión privado que quiera aterrizar a reservar plaza para un día y una hora establecidos con anticipación. Las líneas aéreas comerciales realizan estas reservas en bloque y lo mismo ocurre con las compañías dedicadas a los vuelos de enlace, las llamadas de "tercer nivel". Por consiguiente, y excepto en casos de emergencia, si un piloto privado solicita autorización para aterrizar, se le indica que debe dirigirse hacia un aeropuerto más pequeño, en las cercanías de la ciudad, reservado a este tráfico aéreo.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Aviónica; Tráfico aéreo, control del**





A la izquierda, uno de los vehículos que se emplean para subir hasta la altura de las puertas de los aviones los equipos de limpieza, que necesitan introducir y después sacar del avión un notable volumen de material. Los mismos vehículos permiten levantar hasta el nivel de las puertas, por ejemplo, las sillas de ruedas de los pasajeros inválidos. Abajo puede verse un vehículo que transporta un potente grupo electrógeno para suministrar energía eléctrica a los aviones cuando tienen los motores parados; ésta se utiliza para el funcionamiento de los equipos de instrumentos de a bordo y también para poner en marcha los motores de las aeronaves.





vehículo auxiliar

vehículo para la carga de contenedores

camión cisterna de combustible

transportador de cargas pesadas

vehículo para los servicios de cocina de a bordo

vehículo para la carga de contenedores

vehículo auxiliar

vehículo de los equipos de limpieza

vehículo portador del grupo electrógeno

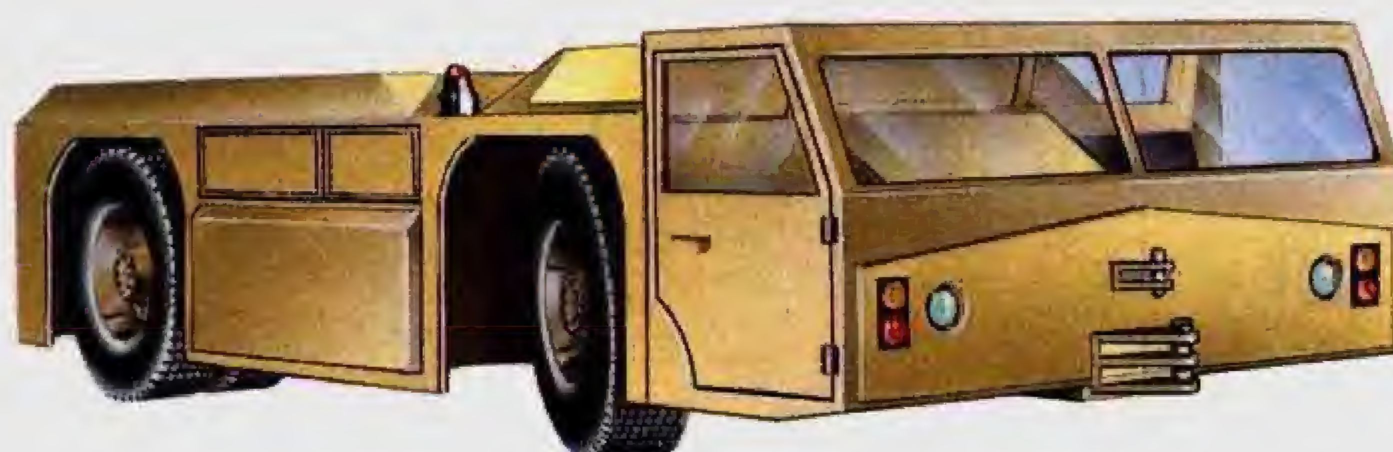
vehículo para los equipajes de los pasajeros

vehículo de los equipos de limpieza

vehículos para los equipajes de los pasajeros

autobomba

Arriba, en el centro, puede verse un gran avión detenido en el área de estacionamiento y a su alrededor los distintos vehículos con los que se efectúan los trabajos de manutención y reabastecimiento. Nótese que no todos pueden operar al mismo tiempo. A la derecha, un potente tractor de los que se utilizan para remolcar los aviones en el área de maniobras y para introducirlos y sacarlos de los hangares de mantenimiento. Arriba, dos vehículos contraincendios, especiales para los aeropuertos: ambos sirven para rociar con espuma: el primero con chorros orientados manualmente y el segundo con un cañón sobre la cabina.



Aerosol

Aun cuando la palabra "aerosol" se emplee a menudo para indicar el contenedor de difusión o *spray*, se entiende por aerosol, en sentido estricto, las minúsculas partículas líquidas o sólidas dispersas en un gas. La suspensión dispersa se llama *coloide*. Un ejemplo de aerosol natural es una nube, compuesta de minúsculas gotas de agua, retenidas juntas y circundadas por el gas aire. La erupción del volcán Santa Elena ha dado origen a la cantidad más imponente de aerosol de la historia reciente. Un aerosol preparado por el hombre, como es un producto desodorante común, contiene sustancias químicas desodorantes, llamadas ingredientes activos, que son expulsadas del contenedor con ayuda de un propulsor gaseoso.

Un difusor *spray* funciona de modo similar a una botella de champán cuando se le hace saltar el tapón. Cuando éste se inserta a presión en el cuello de la botella, el gas contenido en el champán queda atrapado; pero, si se remueve ligeramente, el gas posee fuerza suficiente para disparar el tapón hacia lo alto. Del mismo modo, cuando la válvula del contenedor está cerrada, el gas propulsante queda atrapado; pero, al abrirse la válvula, el propulsor huye por la abertura, empujando o transportando consigo los ingredientes activos. En el cuello de un *spray* se encuentra una arandela de goma de guarnición que sirve de tapón del contenedor, cubriendo la abertura de la válvula. Cuando se aprieta el pulsador, la válvula que hay bajo la guarnición se abre y la solución se dirige hacia el exterior a través de un largo tubo.

Existen dos métodos para mantener la presión necesaria en los sistemas de difusión *spray*. En el primero, el propulsor está almacenado separadamente en la mitad superior del contenedor. Cuando la válvula interna se abre, las sustancias activas son impulsadas en el tubo por la presión que ejerce hacia abajo el propulsor almacenado encima. Los gases propulsantes usados en este sistema se expanden, ocupando el espacio dejado libre por las sustancias activas que abandonan el contenedor.

En el otro sistema, el propulsor y las sustancias activas están mezclados. Cuando la válvula se abre, el propulsor sale al exterior, transportando las sustancias disueltas en él. La presión en el interior del contenedor se mantiene gracias a la evaporación de moléculas de propulsor. Al ser expulsada la solución, se forma espacio vacío. Entonces, el propulsor se evapora, rellenando el espacio y creando un estrato de vapor a presión sobre la solución. Entre dicho estrato y la solución se forma un tercer estrato de vapor y solución. Frecuentemente, cuando se llega al fondo del contenedor, accionando la válvula se producen solamente burbujas. En ese momento, sabemos que estamos extrayendo una mezcla de vapor y solución.

Los propulsores comprenden gases como el butano, los CFC (clorofluocarburos), el propano y el nitrógeno, algunos potencialmente contaminantes.



Distintas fases del llenado de un bote de *spray*. En la primera fase, el recipiente es lavado con un potente chorro de aire comprimido. En la segunda fase se introduce el líquido base, aquel que deberá ser difundido.

Con la tercera operación se fija la tapa a la abertura del bote. En este momento, con la retención de la válvula, cuarta fase, se puede introducir el gas que sirve de propulsor y que, a causa de la elevada presión con que es bombeado,

Los CFC (uno muy conocido es el freón) han estado entre los propulsantes más difundidos hasta el final de los años setenta. Pero las moléculas de los CFC, que contienen cloro, flúor y carbono, se descomponen en presencia de la luz solar y liberan moléculas de monóxido de cloro. Estas moléculas permanecen largo tiempo en la atmósfera y son resistentes a la descomposición o combinación con otras moléculas. El problema surge porque las moléculas de monóxido de cloro ionizan a las de ozono, no una, sino muchas veces. Esto crea graves peligros ambientales y sanitarios, pues el estrato de ozono sirve de escudo contra las peligrosas radiaciones ultravioletas que alcanzan la Tierra desde el Sol. En 1978, el grupo de los CFC fue proscrito en el mercado estadounidense por ser considerado una amenaza para el ambiente.

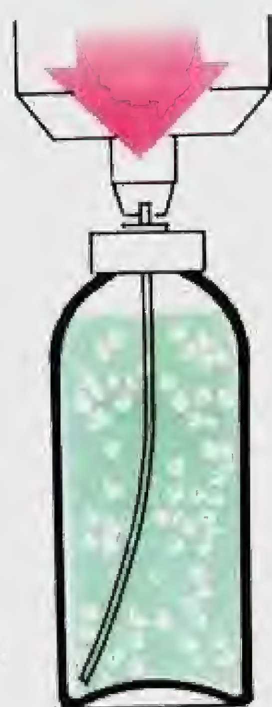
Sin embargo, pese a la prohibición impuesta a los CFC, los productos en envase *spray* son igualmente vendidos en grandes cantidades y utilizados en numerosas actividades, tanto domésticas como industriales. Los CFC, de hecho, han sido sustituidos por otros gases propulsantes debidamente aprobados por las autoridades competentes, y se desarrollan continuamente nuevos sistemas de *spray*.

En uno de los sistemas más seguros desde el punto de vista ambiental recientemente introducidos, la presión proviene del dióxido de carbono que se produce cuando se mezclan ácido cítrico y bicarbonato de sodio. Los gases propulsantes se almacenan en un saquito de plástico dentro del contenedor, mantenido a su vez a presión por una pequeña cantidad de dióxido de carbono. Al fondo del saquito se encuentra cierta cantidad de ácido cítrico, mientras encima hay unas bolsitas selladas que contienen comprimidos de bicarbonato sódico. Cuando se hace salir el producto del contenedor, el dióxido de carbono contenido en el saquito se expande, rompiendo el sello de la bolsita inferior. El comprimido de bicarbonato sódico se desliza fuera, cayendo en el ácido cítrico, donde desarrolla nuevo dióxido de carbono. Al vaciarse de sustancias activas, el saquito de plástico se expande más y, poco a poco, se rompen las restantes bolsitas, de abajo a arriba, por lo que caen otros comprimidos en el ácido cítrico que hay debajo. Mediante este ingenioso sistema, es posible emplear los *sprays* sin causar daño al ambiente.

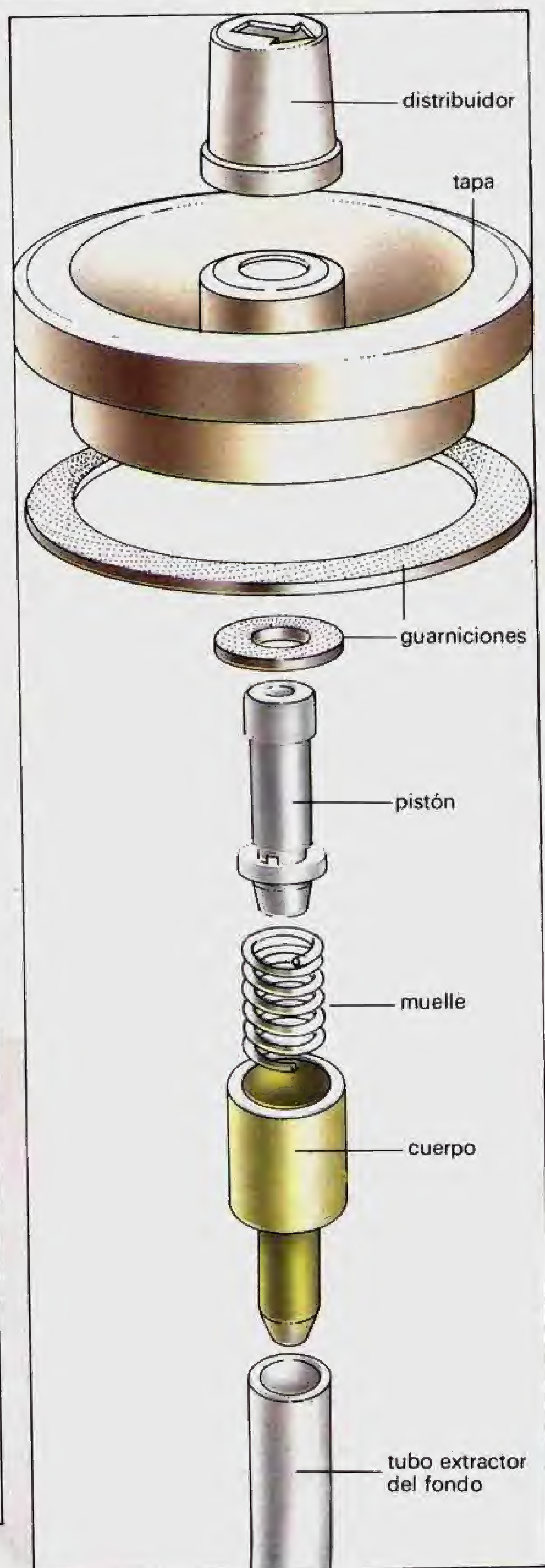
Véase **Freón**

fase vapor

se disolverá en el líquido, al menos en parte. En la última fase, el bote se sumerge en un recipiente lleno de agua, en el que las burbujas indicarán eventuales pérdidas.





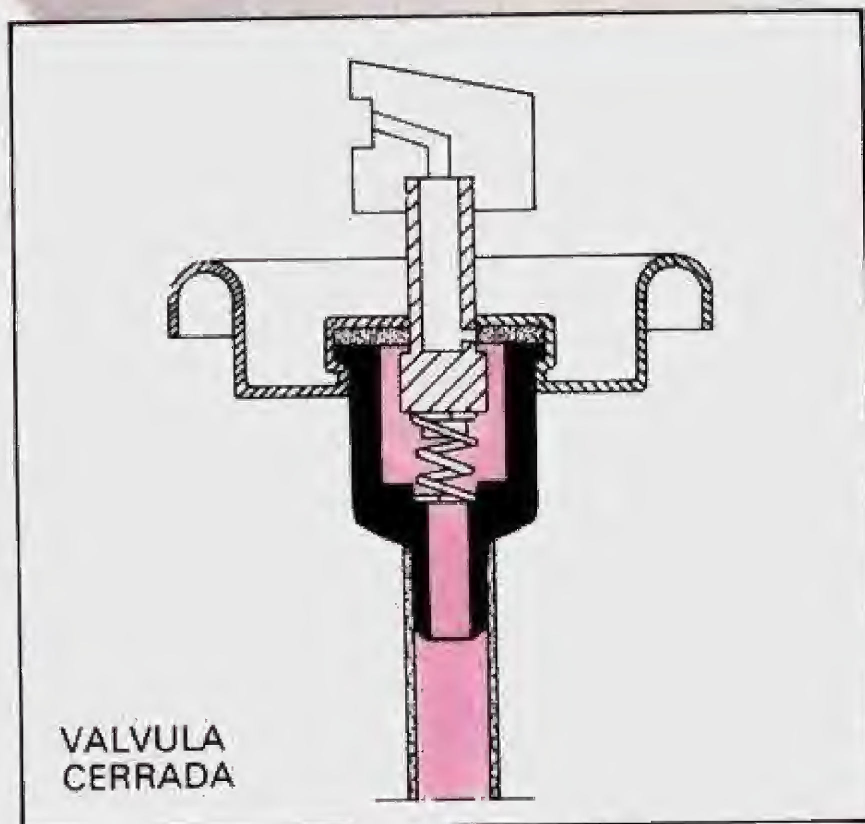


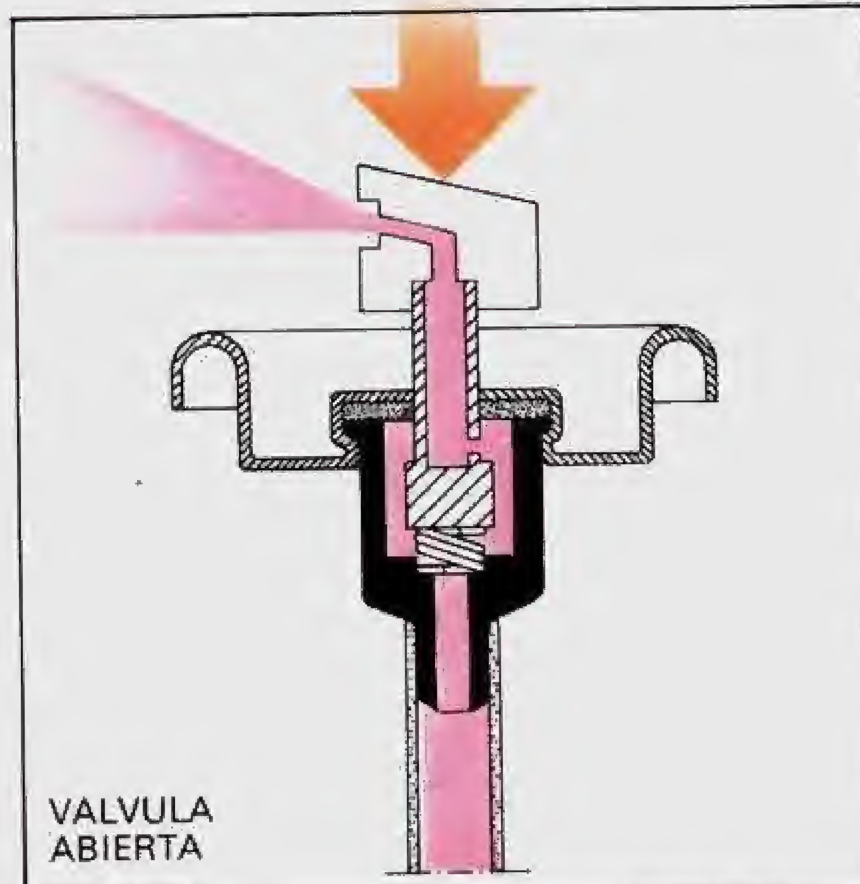
En los dos esquemas de abajo se ve cómo la presión del líquido y del gas en la parte alta del tubo, junto con la del muelle, mantienen cerrada la válvula. Pero si se aprieta el distribuidor con suficiente fuerza, el pistón desciende y permite la salida del líquido. La dilatación del flujo correspondiente al agujero de salida nebuliza el líquido con la ayuda adicional del gas disuelto.

distribuidor

tubo extractor del fondo

fase líquida





En el centro, corte de un bote de aerosol con su contenido de principio activo y de gases propulsores. Estos están constituidos por hidrocarburos (isobutano, propano, butano), por clorofluocarburos, admitidos en Europa, y por gases comprimidos (nitrógeno, monóxido de nitrógeno y dióxido de carbono). Cuando se aprieta la cabeza de la válvula, el líquido sale con violencia. De hecho, en la bombona el líquido está en el fondo y sobre él está el gas. Este presiona sobre el líquido y tiende a hacerlo subir por el tubo que, tocando el fondo, puede conducir el líquido a la cima de la bombona y a la válvula de salida. Pero si ésta está cerrada, el líquido no puede ni subir ni salir. Si se abre con la presión de la mano, entonces el gas se expande y empuja al exterior el líquido. Con el tiempo, éste llenará cada vez menos la bombona, pero el gas mantendrá siempre la presión suficiente para empujar fuera todo el líquido. Al final, la salida del gas sólo indica que el contenido está agotado. Sobre estas líneas, las partes que componen una válvula.

Agricultura

La agricultura consiste en una acción voluntaria del hombre sobre un número reducido de plantas escogidas y sobre el medio en el cual ellas crecen, con vistas a una producción más abundante, más regular o de mejor calidad. Desde que los hombres crecen en número en los espacios habitados, las disponibilidades de alimentos no son suficientes a base exclusivamente de la recolección de frutos y plantas salvajes y de la caza, viéndose precisados a recurrir a esa práctica intensificadora de la producción que es la agricultura.

Pero la aparición de la agricultura en su estadio inicial tiene una consecuencia ecológica importante: el ecosistema natural que regenera satisfactoriamente la energía es sustituido por un "ecosistema truncado", que es el agrícola, en el que se detrae energía que no se puede regenerar. De aquí que, para solucionar la dificultad, durante siglos, y aún hoy en más espacio del que se piensa, el hombre haya de ingeniar técnicas más o menos empíricas que le ayuden a reponer en el suelo la energía que detrae. Estas, entre otras, han sido el "cultivo itinerante" —con abandonos prolongados de las parcelas cultivadas—; los sistemas con barbechos, extensos y reiterados; la asociación de agricultura y ganadería para que ésta proporcione materia orgánica con el estiércol; y el aprovechamiento —hasta extremos inverosímiles— de materia orgánica de pueblos y ciudades, restos vegetales, etc., como en los arrozales del Extremo Oriente.

En épocas históricas muy recientes, siglos XIX y XX principalmente, el hombre creyó romper ese círculo aumentando espectacularmente el espacio agrario y regenerando los elementos fértiles mediante abonos. Pero la solución, aunque brillante y válida, no dejó de presentar peligros ecológicos y económicos serios: degradación y mineralización de suelos, erosiones espectaculares, peligro de agotamiento de minerales fósiles —que proporcionan ayuda productiva a la agricultura—, etcétera.

Así las cosas, y en una primera aproximación, se puede afirmar que la agricultura mundial se debate entre un primer tipo que lucha por ampliar su espacio y aumentar su productividad, y otro que ha alcanzado aceptablemente esos estadios, pero que está amenazado de peligros ecológicos y de antieconomicismo, porque invierte más energía que la que extrae.

No obstante, hay que enfatizar que una y otra agricultura constituyen, en su significado estricto, una actividad de capital importancia, aun cuando los postulados fisiocráticos o de exaltación de la agricultura como principal fuente de renta no sean los vigentes. Y ello:

- Porque la agricultura, sin parangón posible, sigue siendo la principal fuente de alimentos del mundo, ya que los alimentos procedentes de la pesca, de la acuicultura o de los procesos sintéticos, etc., son aún insignificantes.
- Porque es verdad que aumenta la población urbana, que decrece la población activa agraria y que disminuye el porcentaje de participación de la actividad agraria en el PNB; pero también es verdad que una gran parte del mundo —casi un 50%— vive de la agricultura.
- Porque también es verdad que, en los países desarrollados, "el campo", en cuanto espacio agrícola, va siendo cercenado por la "ciudad" y asaltado por sus habitantes para instalar residencias secundarias, industrias, vías de comunicaciones, embalses, etc., e incluso como ámbito privilegiado para el esparcimiento; pero en esos países aún queda mucho campesinado, y no digamos en los países subdesarrollados, donde todas esas solicitaciones del espacio agrario son mucho menores. Y es más, ante las dificultades alimentarias que se prevén en un próximo futuro, la Humanidad debería respetar como santuarios inviolables los espacios agrícolas idóneos y productivos, sin que la ciudad y sus actividades pudieran ocuparlos.

Por otra parte, la actual agricultura es fruto de una larguísima evolución histórica que comprende complejos procesos de domesticación y difusión de especies cultivadas, de técnicas y sistemas de cultivo.

Hoy se sabe, en contra de anteriores opiniones, que probablemente el origen de la agricultura, más que en la domesticación de plantas que se propagan por semilla, se encuentra en las que se propagan vegetativamente (por esquejes, tallos, etc.), destacando tres centros al respecto: Sureste de Asia con el ñame, taro, bambú, etc., que se remonta a los años 9000 a 7000 a. de C.; Oeste de Africa, con ñame indígena y palmera aceitera; y Sudamérica, con la mandioca y otros. A su vez, hay tres centros principales de domesticación de cereales en el Viejo Mundo, unidos a la utilización del arado y de animales de tiro, que son: Suroeste de Asia (del Hindu Kush y mar Caspio a Grecia y Creta), Norte de China y Sureste de Asia, y posiblemente dos en el Nuevo Mundo: Sur de México y Perú.

Alrededor del primer milenio a. de C. estos centros se han expansionado y han configurado tipos específicos de agricultura que pueden ser sintetizados así:

a) *Suroeste de Asia y Europa*, con los cultivos básicos de trigo, cebada, lino, lentejas y otras leguminosas. Según espacios,



Archivo Salvat



Archivo Salvat

La domesticación de plantas y animales señaló el comienzo de la producción efectiva y autosuficiente de alimentos por el hombre. Dicha domesticación, que se suele hacer nacer en el Sudoeste Asiático y en Mesoamérica, alcanzó un gran desarrollo en Egipto. Ya en la Edad Media, Europa produjo los avances agronómicos más relevantes, que apenas se modificaron desde entonces hasta la revolución agrícola de los siglos XVII a XIX. Especial importancia para España y el mundo mediterráneo tienen las aportaciones árabes medievales: difusión de las técnicas de regadío, introducción de nuevos cultivos (arroz, algodón, lino, caña de azúcar, etcétera) y difusión de la oveja merina.

comprende distintos subtipos: las comunidades que practican el regadío (valles del Nilo, Eúfrates, Tigris...); el *dry farming*, con barbecho, que es el complejo básico; agricultura mediterránea, que incorpora los cultivos de la vid, el olivo y la higuera; y la Europa al Norte de los Alpes, que concede más importancia a la ganadería y que suma la avena y el centeno a los cultivos.

Alrededor del 500 a. de C. toda esa zona practicaba unos sistemas de cultivo y unas técnicas que, esencialmente, han permanecido inmodificadas hasta las recientes revoluciones agrícolas.

b) *Sureste de Asia*, cuya gran revolución y fijación del sistema consiste en sustituir las plantas que se propagan vegetativamente por arroz de regadío.

c) *Norte de China*, con especies domesticadas localmente, como el mijo y la soja, y otras importadas del Suroeste de Asia, como el trigo y la cebada. Se conoce el arroz, pero no es un cultivo básico.

d) *América*, con cultivo de raíces por una parte y el complejo maíz-*squash*-fríjol por otra, y también con regadío en Perú y México.

Esta situación va a persistir, al menos en lo esencial, durante el fin de la Edad Antigua y principios de la Edad Media, pues a partir de la caída de Roma se ralentizan mucho las corrientes de difusión. La expansión árabe dinamiza el intercambio de plantas y técnicas, sobre todo entre los centros asiáticos, europeo-mediterráneos y africanos, septentrional y oriental; por su importancia para España, y con ella para América, conviene reseñar las principales aportaciones árabes al mundo mediterráneo, que son cuatro: difusión de las técnicas de regadío procedentes de Egipto y Mesopotamia; introducción de nuevas plantas asiáticas (cítricos, caña de azúcar, algodón, morera y moral, alfalfa, arroz,...); promoción de la horticultura e introducción de la oveja merina, que revoluciona la ganadería.

Pero será a partir de finales del siglo XV, con el descubrimiento de América y las colonizaciones portuguesa y española, cuando, ininterrumpidamente hasta nuestro siglo, se va a producir un intercambio de cultivos, cuyos hitos más importantes son:

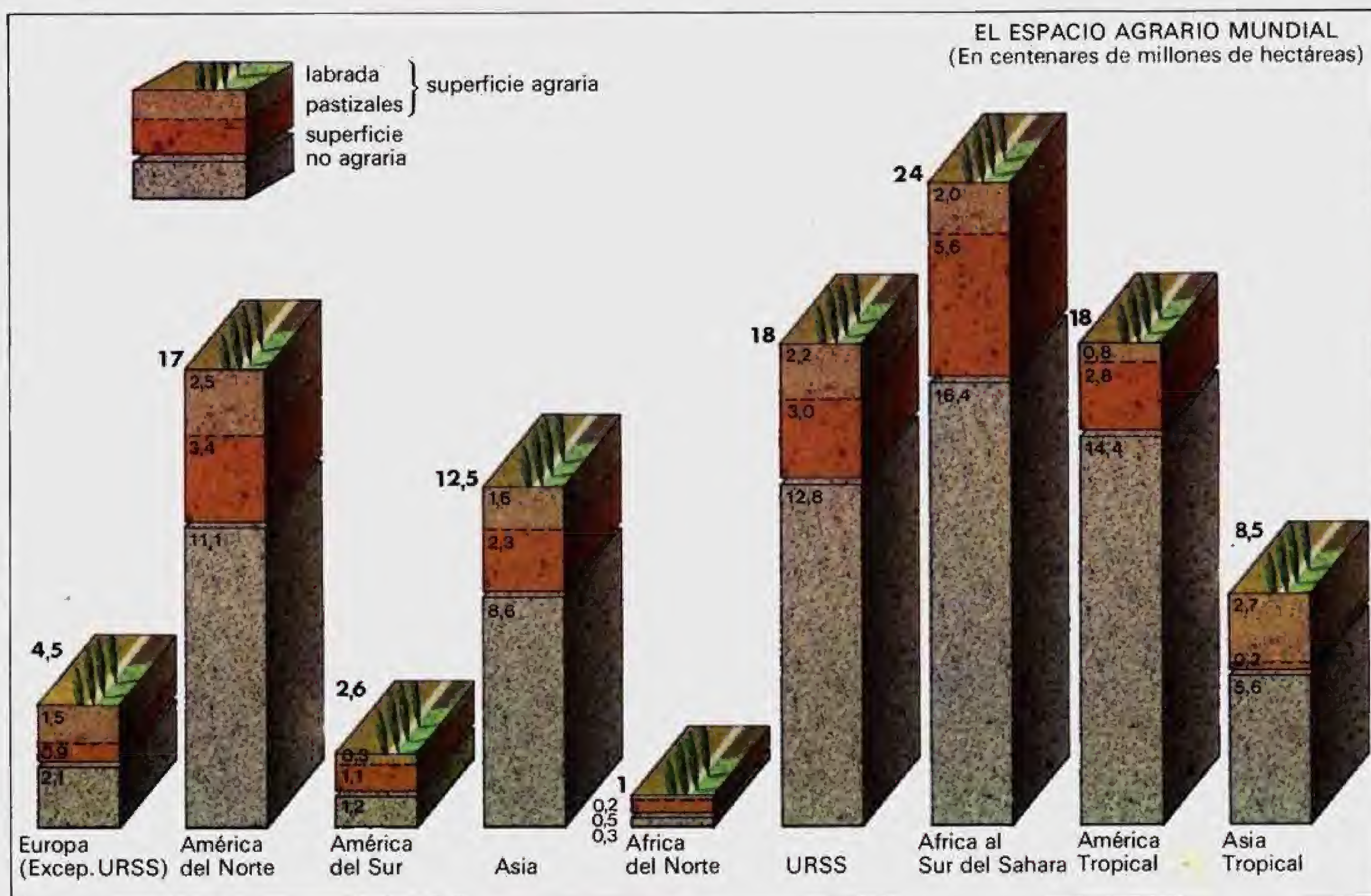
• Finales del siglo XV y, sobre todo, el siglo XVI, en los que se va a producir la primera gran oleada difusora entre Latinoamérica y Europa-Africa-Asia, a través de Filipinas, con la llegada, entre otras muchas plantas, de la patata, el maíz y el tabaco a Europa; del maíz, la patata dulce, el cacahuete y el cacao a Africa; y aportaciones de éstas y otras plantas a Asia; entre Europa y Latinoamérica (llegada a ésta de los cereales europeos), e incluso con la dispersión de cultivos indígenas dentro del continente americano. Los instrumentos de estos intercambios fueron, sobre todo, los españoles y los portugueses y, en menor medida, los holandeses y, en general, los comerciantes dedicados a la trata de negros.

• La segunda gran oleada se desarrolla en los siglos XVIII y XIX a base de la introducción en los amplísimos espacios coloniales europeos de plantas especialmente comerciales. A esta fase corresponde la expansión en Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda de sus principales especies agrícolas y ganaderas.

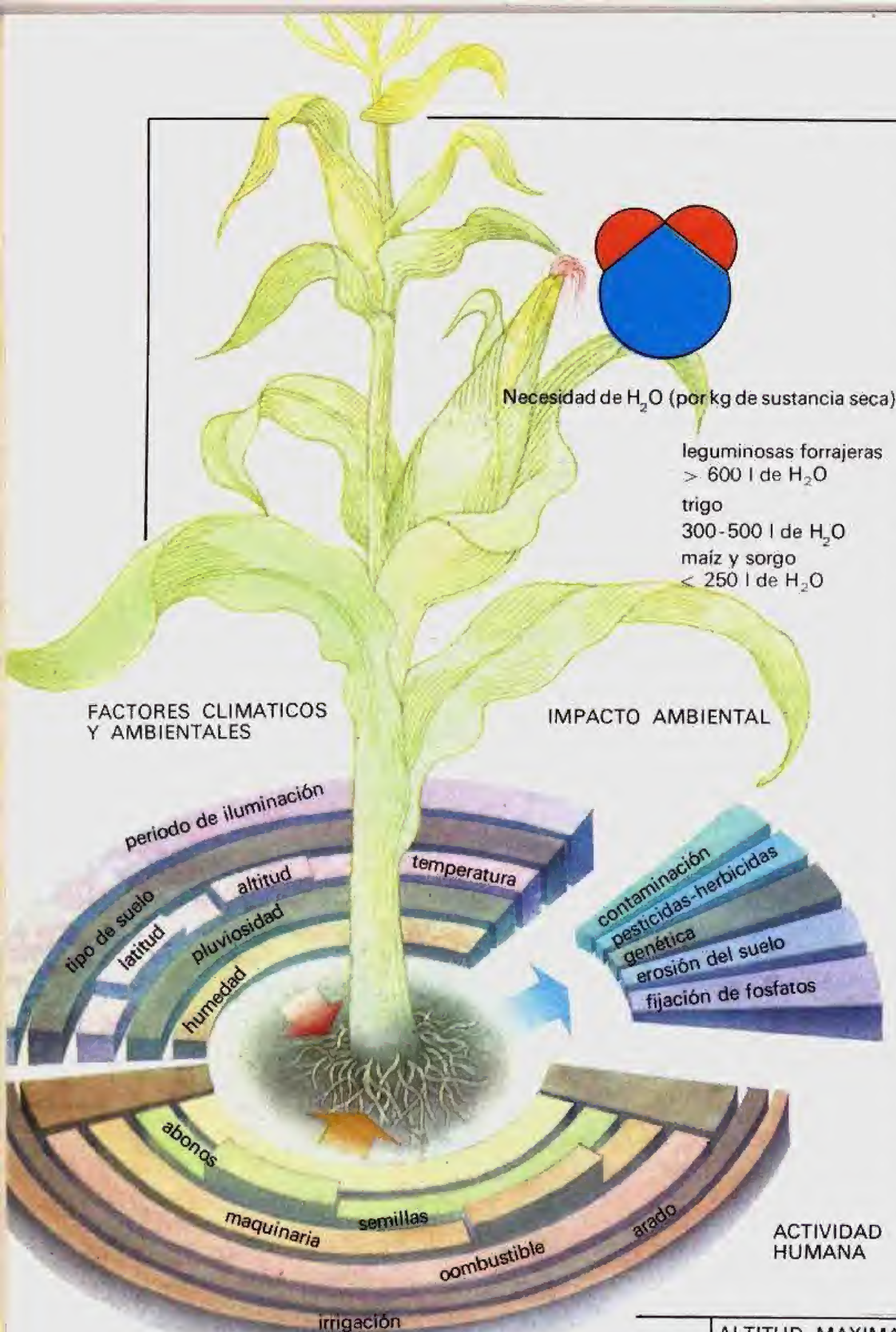
Conviene resaltar que a partir de finales del siglo XV la dimensión del intercambio de cultivos hay que comprenderla a escala mundial, afectando tanto a los centros antiguos de domesticación citados como a los que presentan al respecto un palmarés muy exiguo (por ejemplo, América anglosajona, Australia, Nueva Zelanda); conviene también recalcar que con los intercambios reseñados queda definida esencialmente la vocación agraria de los distintos espacios mundiales. Bien entendido, no obstante, que en los tiempos actuales no se puede desconocer la importancia de la difusión de variedades ecológicamente superadoras de constricciones climáticas y edáficas, que trajeron consigo, además, un aumento espectacular de los rendimientos (caso del maíz híbrido, trigos de primavera y de caña corta, etc.), uno de cuyos aspectos es, también, la *revolución verde*, que tanto ha contribuido a la mejora de semillas —sobre todo arroz y trigo— en medios tropicales y en países en vías de desarrollo.

Al final de este proceso, el *espacio agrario mundial* supone entre un 30% y un 33% —según las fuentes— de la superficie terrestre; y a la par que los procesos de difusión se consumaban, éste se ensanchaba, habiéndose más que duplicado desde mediados del siglo XIX, afectando esta expansión no sólo a los llamados "países nuevos", antes poco o nada explotados agrícolamente (parte de Rusia, Estados Unidos, Argentina, Australia, Nueva Zelanda...), sino también a los países de viejas civilizaciones agrarias (Europa, India, Este de Asia). Lógicamente, ese espacio agrario, en su magnitud y cualificación específica, no sólo se ha diseñado a causa de los procesos de difusión histórica de cultivos y técnicas ya expuestos, sino también a causa de otra serie de factores, entre los que destacan:

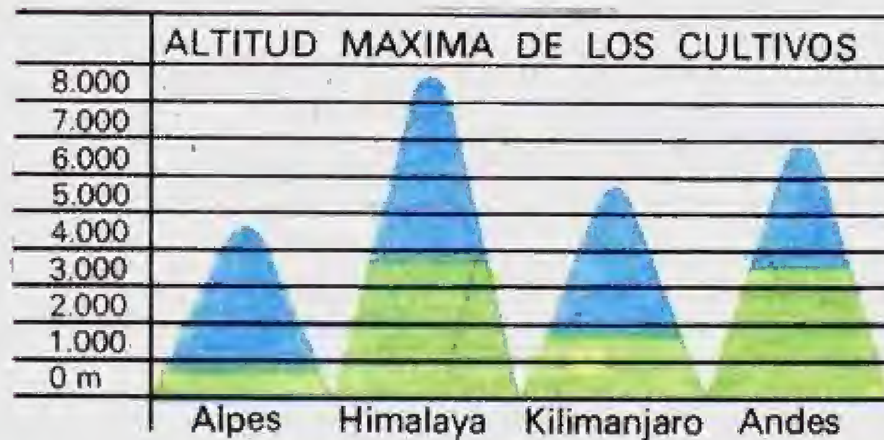
• el medio físico, en su doble vertiente de clima y suelo;
• la presión demográfica;
• los condicionamientos económicos;
• los avances de la tecnología agraria.



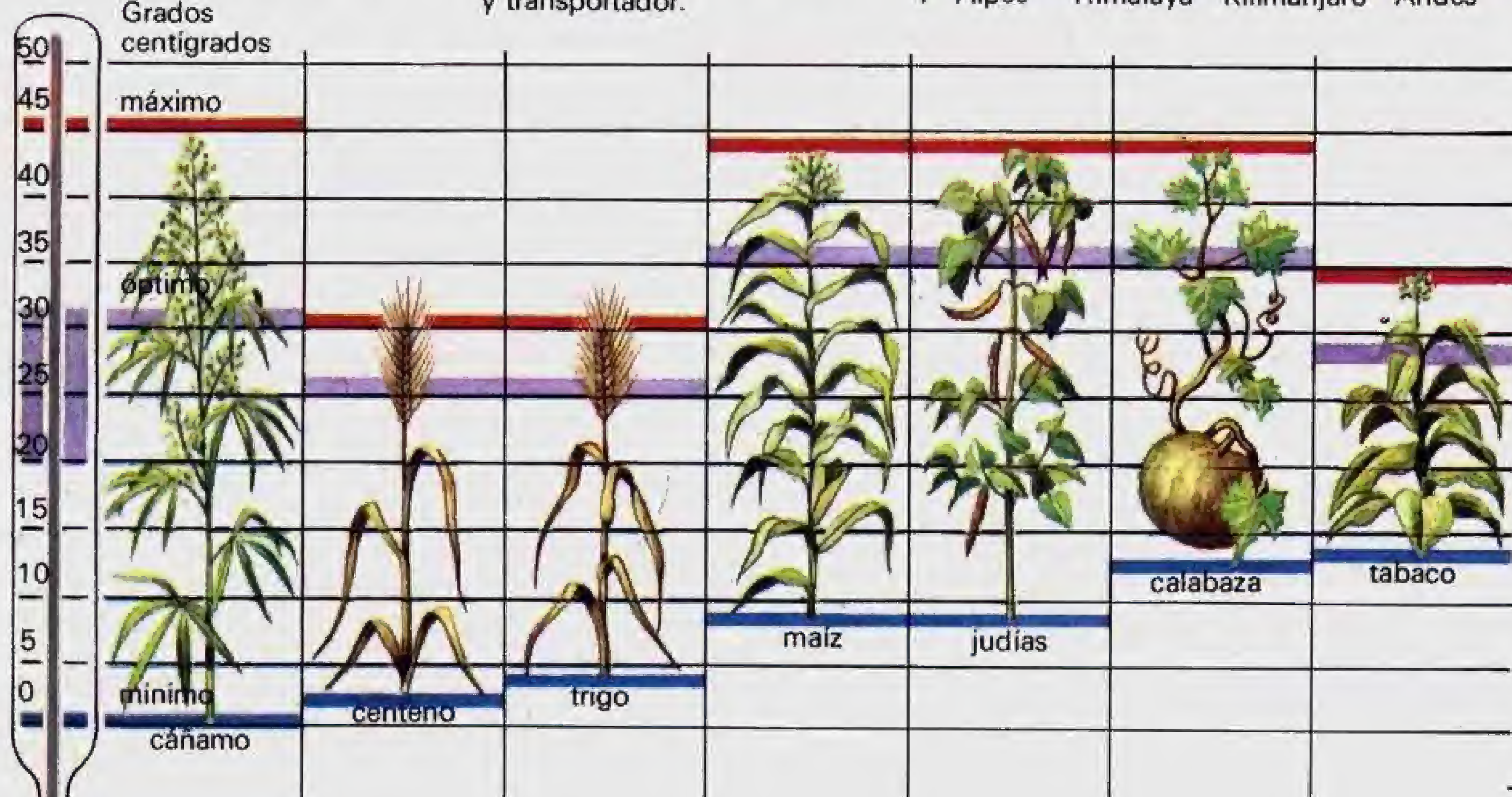
El espacio agrario está en torno al 30-33% de las tierras emergidas, siendo mayor el porcentaje en la zona templada que en la cálida. Pero aún son mayores las diferencias regionales, con porcentajes máximos en Europa Occidental y Africa del Norte y moderados o mínimos en casi todos los conjuntos de la zona cálida. En general, su extensión y, sobre todo, la intensidad de su explotación son mayores en los subdesarrollados, donde la subalimentación es norma. De ahí que las razones de los límites del espacio agrario mundial y los factores de su conformación no puedan ser sólo de tipo físico (clima y suelo) sino, y en buena medida, humanas e históricas (demográficas, económicas).
La superficie no agraria es aún muy importante.



Las plantas cultivadas dependen de factores ecológicos o físicos y de factores humanos. Los primeros, a su vez, pueden agruparse en dos grandes conjuntos: los climáticos y los edáficos, o relativos al suelo. En los *factores climáticos*, la *latitud* y la *altitud*, como síntesis del clima de un lugar, son determinantes de los cultivos de una zona y de su rendimiento efectivo. Es así como hay cultivos ecuatoriales, tropicales y de zona templada, aunque también es verdad que otros son más ampliamente tolerantes al respecto. En los gráficos inferiores pueden observarse los límites de temperatura de algunas plantas, muy dependientes de la latitud en que nos encontramos, y la altitud máxima de los cultivos en distintas montañas del Globo, muy variable también según que estén en zona intertropical o templada. A partir de estas altitudes sólo son posibles bosques, praderas e incluso la ausencia de vegetación, según los casos. Por último, latitud y altitud también condicionan el tipo de plantas, porque aquéllas, y sobre todo la primera, imponen distintos períodos de iluminación, y las distintas plantas son muy sensibles a este fenómeno, que se conoce con el nombre de *fotoperiodismo*.



Son muchos los elementos que contribuyen a hacer un suelo apto para la agricultura. Elemento climático clave es la *pluviosidad*, ya que el agua es elemento indispensable en la construcción del tejido vegetal, da curso a las reacciones químicas, aporta los iones de hidrógeno para la fotosíntesis y actúa como medio disolvente y transportador.



Clima y actividad agrícola Los factores climáticos de base de la actividad agrícola son el frío y la sequía. Uno y otra pueden ser definidos por la *duración del invierno* (o, inversamente, por la de la actividad vegetativa) y por la *duración de la estación seca* (o, inversamente, por la de la estación de lluvias).

Se admite normalmente que el *reposo invernal* sin actividad vegetativa corresponde al mes cuya temperatura media sea inferior a 10 °C. Por tanto, la isoterma 10 °C del mes más frío puede servir de límite entre las regiones templadas (con reposo invernal de la vegetación) y la regiones cálidas (sin invierno). En el primer caso, la duración del período cálido puede variar entre 0 y 12 meses; en el segundo, la duración del período cálido es siempre igual a 12 meses.

Y, por otra parte, no es desacertado considerar como regiones secas —con pocas posibilidades para la agricultura, salvo que puedan regarse con aguas procedentes de otras latitudes— aquéllas que reciben menos de 330 mm de lluvias al año.

Si se aceptan los presupuestos anteriores, combinando isotermas e isoyetas (líneas que enlazan puntos con igual precipitación), se pueden delimitar las zonas climáticamente favorables para la agricultura (véase mapa correspondiente), quedando excluidas de la agricultura el norte del Cánada y de la URSS europea y asiática, amén de la Antártida por frío; y, por sequía, la dorsal árida de América del Norte (Montañas Rocosas, Arizona, parte de México), el desierto costero peruano-chileno y los desiertos andinos, el Sahara y su continuación por los desiertos asiáticos, parte del Kalahari y desierto de Namibia y gran parte de Australia. Significativamente, todas esas zonas presentan una débil densidad de población, inferior a 3 h/km^2.

Pero el clima impone también a las distintas plantas cultivadas unos límites de latitud que difícilmente pueden sobrepasar. De forma que, unas, como el cocotero y la palmera aceitera, presentan una localización muy estricta a lo largo del ecuador (hasta 15°-16° de latitud); otras, como el sisal, el cacao, el café y la mandioca no traspasan los 25°; otras más —tropicales y subtropicales—, como el algodón y la caña de azúcar, se extienden preferentemente entre los 35° y 45°; de amplio espectro ecológico, a su vez, son el mijo, el sorgo, el arroz, el tabaco y el maíz, que se extienden desde el trópico a las latitudes medias; existiendo, por último, otras específicas de las latitudes medias —aunque difícilmente se sobrepasan los 70°—, como ocurre con los cultivos mediterráneos.

El clima, pues, impone unos límites absolutos a los cultivos y a la agricultura, debatiéndose el hombre siempre, y especialmente la técnica actual, no tanto en cambiar sino en mitigar y prevenir los caracteres del clima en los siguientes aspectos:

• *Modificación del medio climático*, aunque dicha modificación se reduzca a poco más que correcciones, que a escala

mundial son escasamente significativas: cultivos bajo plástico de flores y hortalizas, cultivos mediante sistemas de calefacción, invernaderos permanentes o temporales, cortavientos, cultivos hidropónicos, disparos contra tormentas y granizos. Y sobre todo el riego, que, desde las antiguas civilizaciones agrarias, ha sido el medio más eficaz que el hombre ha encontrado para luchar contra la indigencia pluviométrica y la constricción climática.

• *Creación de variedades nuevas de plantas*. Hay que cultivar en cada zona climática las especies y variedades cuyo ritmo vegetativo (crecimiento, floración, maduración) esté mejor adaptado a ese clima y a su ritmo estacional; de ahí que la genética de las hibridaciones para obtener nuevas variedades no sea sólo trabajo de laboratorio sino fruto de la introducción de variedades extranjeras, depuradas y entrelazadas con especies autóctonas, cuya "rusticidad" expresa esa conformación con el clima del lugar. Los logros al respecto han sido espectaculares, por ejemplo con el maíz híbrido y los trigos de primavera, que han logrado doblegar constricciones climáticas antes insuperables.

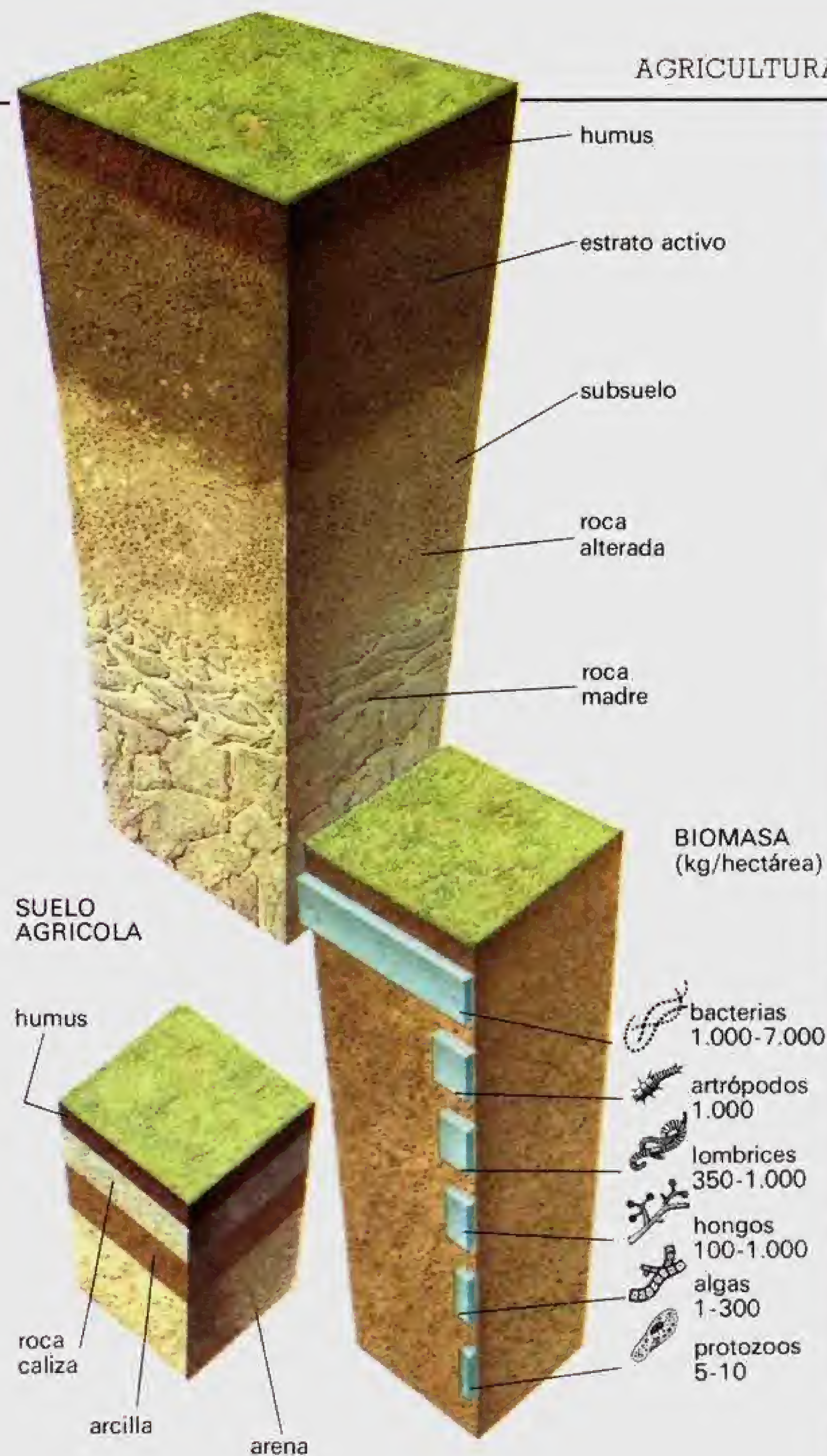
• Y por último, el hombre, desde muy antiguo, y dentro de ciertos límites, ha triunfado parcialmente sobre los hechos climáticos seleccionando cuidadosamente sus sistemas y rotaciones de cultivos.

En suma, pues, el clima es el condicionamiento mayor, y en muchos aspectos absoluto, de la agricultura, pero la técnica actual y los conocimientos seculares del agricultor van obteniendo victorias parciales sobre aquél.

Agricultura y suelo Todo agricultor sabe que, tras el clima o microclima de su explotación, sus posibilidades productivas dependen del tipo de suelos en que se asienta. Y también lo saben los científicos, que desde el ruso Dokuchaiev (1846-1903) han desarrollado una compleja ciencia llamada Edafología, que estudia esa película superficial de la corteza terrestre, viva y variada, que alimenta y estimula a las plantas y que se llama *suelo*.

En una primera aproximación, el desarrollo de las plantas cultivadas —y la existencia o no del propio espacio agrario— dependerá del mayor o menor espesor de la película edáfica, pudiendo establecerse una gradación decreciente para los cultivos entre suelos profundos, superficiales y esqueléticos, y correspondiendo, en general, los primeros a llanuras, depresiones y valles (especialmente aptos para la agricultura), los segundos a colinas y terrenos moderadamente quebrados, y los últimos a montañas y desiertos.

Pero, a su vez, esa elemental clasificación tiene relación con lo que se llama *textura* del suelo, según que en él predomine una fracción fina (arcillas, limos o arenas) o una fracción gruesa (gravas y guijarros). Agronómicamente, y prescindiendo de los extremos, lo ideal es que el suelo esté constituido por lo que se llama "tierra franca",



Junto al clima, las plantas cultivadas dependen del *suelo* o película superficial, distinta del sustrato geológico. Todo suelo presenta un perfil, o sucesión de capas, cuya secuencia completa comprende: a) *humus* o estrato superficial activo, depositado recientemente y constituido esencialmente por detritus vegetales y animales; b) *estrato activo*, suficientemente rico en materias minerales y más pobre en materia orgánica; c) *subsuelo rico en minerales*; d) *roca alterada*, constituida por partículas erosionadas de la roca madre; e) *roca madre* a partir de la cual se forma el suelo. Pero hay que hacer notar que, en conjunto, la película edáfica es un complejo vivo y en evolución, cuyos procesos físicos y químicos son inducidos no sólo por roedores, reptiles, etc., sino por una flora y fauna, a veces microscópicas, cuya composición se expresa en el dibujo. Pero no todos los suelos agrícolas tienen la misma composición. En el dibujo menor se representa un suelo ideal con proporciones óptimas de humus, caliza, arcilla y arena.



En la imagen inferior, cultivo de remolacha, en parte del cual ya ha actuado la descoronadora que corta la parte aérea y deja al descubierto el tubérculo, haciendo más fácil y económica su recolección. La remolacha, cultivo cada vez más importante en latitudes medias, es muy exigente respecto al suelo, precisando un suelo muy fertilizado y saneado, además de requerir agua de lluvia o riego en cantidades que oscilan entre 600 y 1.000 litros/m².



A.G.E.



Camera Press/Zardoya



Camera Press/Zardoya



A.G.E.

o sea, la que de forma equilibrada aúna elementos arcillosos y elementos más sueltos: limos y arenas.

Por otra parte, la fertilidad del suelo depende de su mejor o peor *estructura*, es decir, de la forma en que se agrupan o dejan de agruparse las partículas de aquél: elementos coloidales e iones minerales, que son intermediarios insoslayables para su aireación y permeabilidad y para la captación de elementos nutritivos necesarios para las plantas, incluida la materia orgánica.

Por último, los suelos, según su pH, pueden ser ácidos, básicos o neutros, circunstancia de especial importancia para los cultivos, ya que existen plantas acidófilas o calcífugas, como el centeno o la avena, basidófilas o calcícolas, como la vid y el olivo, y neutrófilas, amén de otras ampliamente tolerantes dentro de parámetros medios, toda vez que los suelos básicos y ácidos en extremo, en general, perjudican a todos los cultivos.

De igual modo que con el clima, cabe preguntarse en qué medida el hombre puede actuar sobre las compulsiones edáficas naturales. La respuesta en este caso es más optimista, aunque ello no quiere decir que no existan constricciones insuperables; por ejemplo, no es posible cultivar en pendientes excesivas o en arenales sin suelo. Pero, en general, el hombre ha transformado tanto los suelos, que ha creado en muchos sitios películas edáficas totalmente artificiales (piénsese en los cultivos forzados de la costa sur mediterránea); ha desecado, drenado y puesto en explotación amplios espacios pantanosos y fuerza cada día la capacidad alimenticia de los suelos con abonos y estiércoles. Todas las labores agrícolas, son, en parte, una mutación acertada sobre los caracteres físicos y químicos de la película edáfica; e incluso un suelo ácido, al "encalarlo", o sea, al aportarle cal, se convierte en básico. Por todo ello, los agrónomos hablan desde antiguo de un "perfil cultural" en los suelos cultivados o "conjunto constituido por la sucesión de capas de tierra, individualizadas por la intervención de los instrumentos de cultivo, de las raíces de los vegetales y de los factores naturales reaccionando ante estas acciones" (Henin).

Estas imágenes recogen cuatro formas de superación de las constricciones del medio físico dentro de la agricultura moderna. En la imagen superior, invernadero dotado de sistema de calefacción, una de cuyas conducciones se ve en primer plano a la derecha. Esta técnica de cultivo permite el control artificial de las condiciones ecológicas en un recinto cerrado, lo que hace posible la obtención de frutos en toda temporada y en zonas geográficas donde no sería posible por las condiciones climáticas. La siguiente imagen recoge un cultivo bajo plásticos y en suelo arenoso. Con esta técnica se consigue un máximo aprovechamiento del agua evapotranspirada, que vuelve al suelo tras condensarse bajo los plásticos. En la tercera imagen aparece un cultivo hidropónico, en el que el suelo se sustituye por unos preparados especiales, acuáticos o no, en los que los nutrientes se dosifican de forma científica adaptándolos al cultivo concreto implantado. Esta técnica, además, hace posible el cultivo "en pisos" o en estratos, al hacerse independiente del suelo. La imagen inferior recoge un ejemplo de cultivo recubierto con cenizas volcánicas, conocido como "cultivo en picón". Las cenizas, que retienen muy bien la escasa agua disponible, permiten el desarrollo de los cultivos a pesar de la precariedad de las precipitaciones y de los suelos. En todos los casos, pues, estamos en presencia de una actuación afortunada del hombre frente a las constricciones climáticas y edáficas que impone el medio físico.

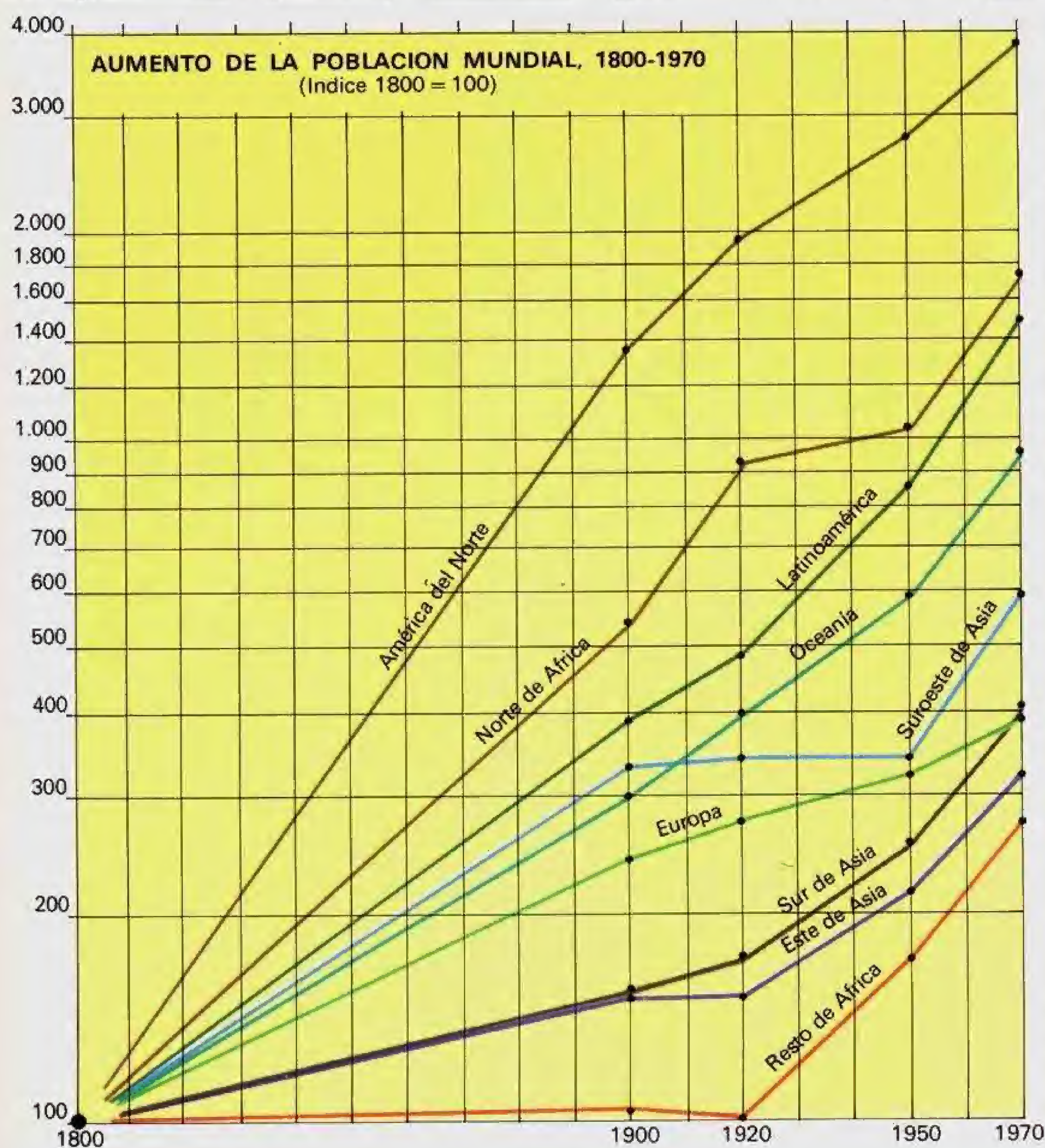
Demografía y espacio agrario El crecimiento de la población mundial fue muy lento hasta el siglo XVIII, de forma que se aprecia una tendencia al estancamiento de la población absoluta. Pero a partir de ese siglo, y sobre todo del XIX, el crecimiento se acelera, habiéndose cuadruplicado la población mundial entre 1900 y 1970, presentando índices altísimos en grandes conjuntos regionales, como Norteamérica, Latinoamérica y Oceanía. Donde no se trata sólo de crecimiento inducido por su dinámica natural, sino también a causa de potentes inmigraciones, en gran medida de origen europeo; entre 1850 y 1960 se calcula que algunos países de esas zonas recibieron más de 70 millones de inmigrantes.

Pero aun así, el crecimiento de la población mundial va a ser especialmente preocupante en los últimos decenios, pues en 1977 aquélla había rebasado ya los 4.000 millones y, según la ONU, en el año 2007 estará en torno a 7.700 millones y en el 2050 entre los 14 y 15 mil millones, con lo que según cálculos de la FAO será preciso incrementar para entonces la producción de alimentos en 17 o 18 veces la de 1960.

No obstante, a efectos agrarios no debe considerarse sólo el crecimiento absoluto de la población, olvidando otras mutaciones cualitativas, como el aumento de la urbanización y del nivel de vida. En el primer aspecto, se estima que en el año 2000 la mitad de la población será urbana, frente al 2,5% en 1800. Ello significa que, por primera vez en la historia, la mayor parte de la población del mundo no se proporcionará su propio alimento, lo que hace aumentar las exigencias productivas del campo y acelerar la comercialización de sus productos.

A la vez, esos procesos han sido coetáneos con el aumento del nivel de vida en una parte de la población del Globo —países desarrollados—, lo que ha inferido un crecimiento selectivo de determinados productos agrarios: carne, leche, frutas, hortalizas, café, cacao, té, etcétera.

En conclusión, todos esos cambios demográficos, por una parte, han ampliado el espacio agrario, como ya hemos señalado; y, por otra, según las perspectivas que se avecinan, plantean el reto del incremento de productividad de la agricultura y la ganadería. Los especialistas en el tema coinciden en que no basta con la extensión del espacio agrario sino que, para responder al reto demográfico, hay que intensificar la



producción por medio de la irrigación, la fertilización, el control de las plagas, el uso de plantas y animales de alta calidad genética, la sustitución parcial de granos por raíces y tubérculos, la sustitución de la ganadería extensiva por otra intensiva, etc., si bien esos cambios suponen riesgos ecológicos, a los que luego se aludirá.

La agricultura y sus condicionamientos económicos y técnicos En gran medida, los cambios demográficos estudiados se han producido en los países que han realizado la "revolución agrícola" (Occidente europeo y "países nuevos" principalmente), y conviene ver cómo dichos cambios han estado ligados a otras mutaciones económicas y técnicas, igualmente conformadoras de los distintos espacios agrarios.

En primer lugar, la *industrialización* ha coadyuvado fuertemente al cambio agrícola porque, aún parcialmente, ha desencadenado la urbanización y aumento del nivel de vida en las sociedades desarrolladas; ha proporcionado capitales al campo; ha generado demanda de determinados productos agrarios; y porque, en último término, ha facilitado los implementos necesarios para la revolución de los transportes y ha estado en disposición de ofrecer los *inputs* necesarios a la tecnología agraria. Explicitemos algunos de estos extremos.

La industria, desde el inicio de su desarrollo moderno, ha demandado de la agricultura una serie de productos, existiendo, no en vano, un conjunto de cultivos que se conocen precisamente como "cultivos industriales" y entre los que se encuentran los textiles, los productores de aceites vegetales, y del caucho, los que componen el sector forestal, etcétera.

A.G.E.



Una de las claves para comprender la expansión del espacio agrario en los dos últimos siglos es el aumento de la población. Entre 1800 y 1970, el conjunto de la población mundial ha crecido más del 400%. Algunos conjuntos regionales, como Norteamérica y Latinoamérica, han batido el *récord* de crecimiento porcentual, pues a principios del siglo XIX estaban prácticamente deshabitados, con grandes espacios "vacíos", siendo su crecimiento fruto no sólo del incremento natural sino y, sobre todo, de una potente inmigración europea y africana. Pero, en cifras absolutas, el crecimiento ha sido mucho mayor en los espacios en que se asentaban viejas civilizaciones agrícolas —casos del Sur y Este de Asia y Europa— a causa de un fuerte aumento vegetativo en que impone el medio físico. fechas, el crecimiento de población ha inducido una sustanciosa expansión del espacio agrario. Así las cosas, y supuesta la necesidad mundial de alimentos y de materias primas, es posible en principio una expansión del espacio agrario (que según algunos puede incrementarse hasta en un 60%); pero, probablemente, ello no sea suficiente como única medida para solucionar el problema, por las consecuencias ecológicas nefastas que en determinados casos podría originar y por la insolidaridad del sistema de intercambios internacionales. De aquí que al simple aumento cuantitativo haya que unir el incremento de la intensidad de aprovechamiento para solucionar el problema, siempre que aquel intensivismo respete también los presupuestos ecológicos. (En la imagen, desmotadoras de algodón).

Por otra parte, no hubiese sido posible la revolución agrícola si la industria no hubiese podido facilitar los implementos para la revolución de los transportes, cuyos hitos desde mediados del siglo XIX vienen marcados por el transporte a lomos de animales o en carros y carretas, por el perfeccionamiento de los cargueros navales, por la invención y difusión del ferrocarril, por la generalización del automóvil y del avión y por el llamado "transporte en frío", es decir, sistemas de refrigeración rodantes. Además, la industria ha permitido el desarrollo de otros aspectos, como la comercialización (silos, fábricas de conservas, esterilización y pasteurización, industria del frío...) y, sobre todo, ha hecho posible la producción masiva y el abaratamiento de la *tecnología agraria*. Esta comprende, por una parte, lo que se conoce como industria agroalimentaria, y, por otra, los *inputs* necesarios en la explotación para la producción masiva, con el consiguiente aumento de la productividad y ahorro de costes.

Respecto a la primera, baste decir que el procesamiento, conservación y transformación de los productos agrarios, en toda agricultura moderna, deja de ser artesano y de hacerse por la propia familia campesina para pasar a realizarse en factorías independientes; y respecto a los avances en la fabricación de los *inputs* necesarios para la explotación misma, pueden clasificarse como sigue:

a) De carácter mecánico, abarcando:

- toda la gama de cosechadoras, cuyo ejemplo más notorio es la integral de cereales;
- tecnología para la conservación, mejora y cambio de características del suelo, sobresaliendo abonos y fertilizantes;
- tecnología para las labores agrícolas, cuyo mayor logro es el tractor, pero que comprende inmunerables aperos modernos para todo uso;
- tecnología hidráulica relativa a técnicas de regadío, que va del simple pozo al "regadío total" programado, dirigido y controlado por computadora.

b) De carácter biológico:

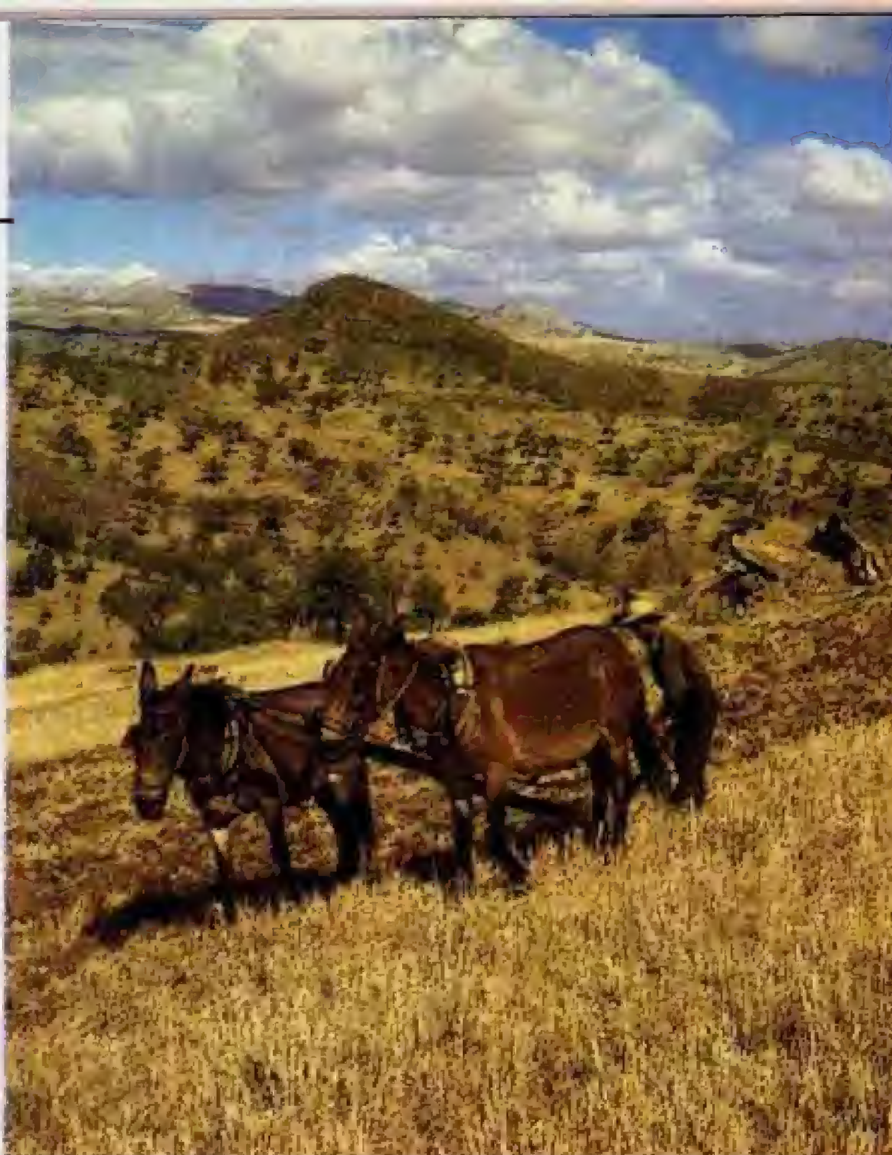
- fitohormonas, herbicidas, pesticidas, etc., para luchar contra los daños a las plantas por concurrencia de malas hierbas, parasitismo y enfermedades;
- selección, mejora y difusión de nuevas semillas, cuestiones que son objeto a escala mundial de una auténtica lucha estratégica con vistas al control futuro de los alimentos;
- mejora y difusión de nuevas razas ganaderas;
- avances en la higiene veterinaria para reducir drásticamente las epidemias y endemias del ganado.

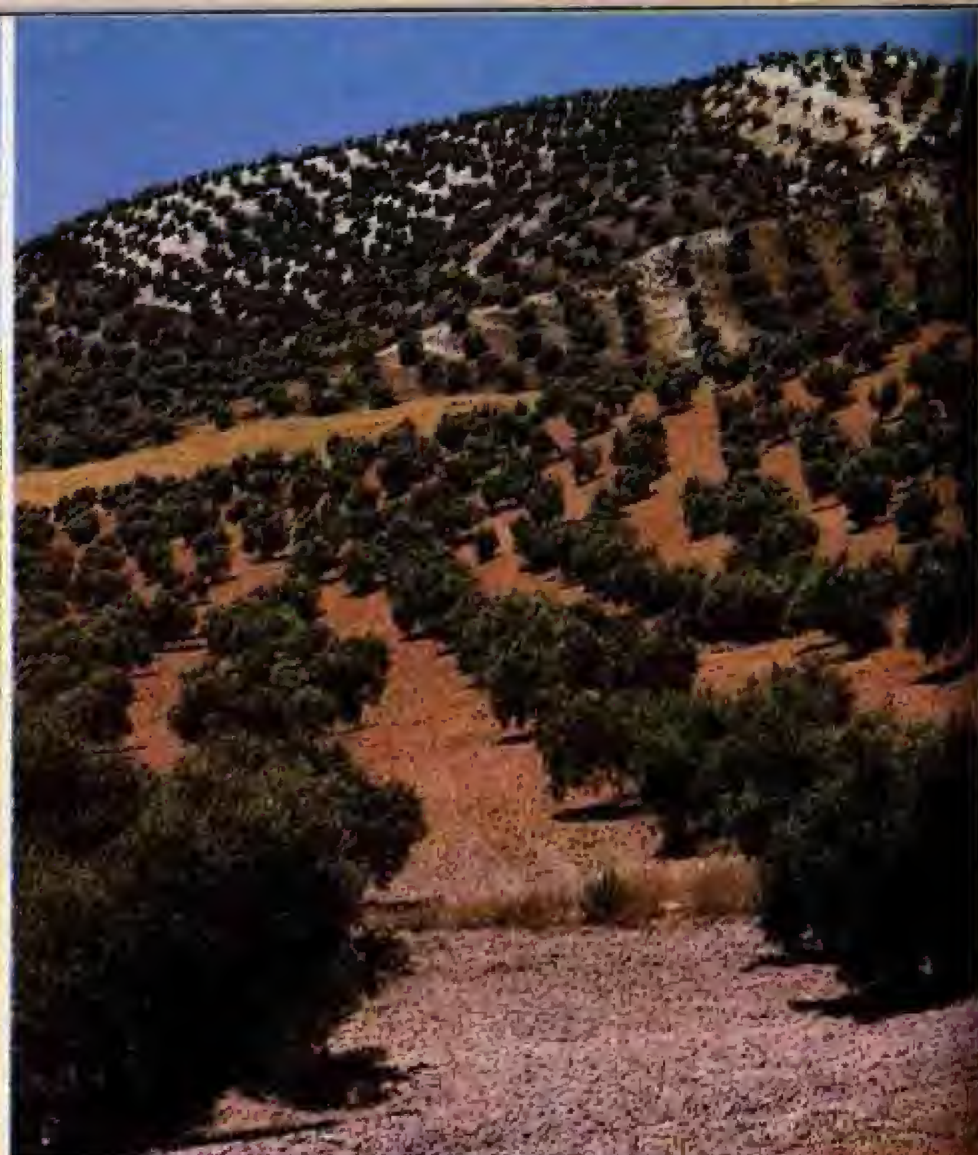
Pero junto a esos aspectos económicos y tecnológicos de la industrialización, está también el de la *comercialización*, cuya justa comprensión requiriría un análisis en sus niveles rural y urbano, local, comarcal, regional, nacional, multinacional y mundial. Pero baste decir que, si bien el último está regido por la dura ley de la oferta y la demanda, en parte controlada por los poderosos, los mercados nacionales pueden clasificarse en tres grupos:

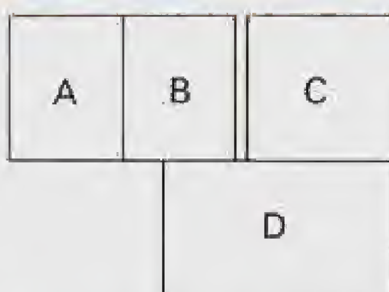
1° Los países subdesarrollados, cuya economía depende de la exportación de productos agrícolas, y que persiguen —con frecuencia estérilmente— garantizar la autonomía en la producción de alimentos, fomentar los cultivos comerciales que son la base de sus exportaciones, y obtener —hasta ahora sin éxito— precios razonables.

2° Países avanzados industrialmente, que, mediante una política claramente proteccionista, pretenden mantener las rentas de sus agricultores, alcanzar una cierta autosuficiencia en la producción agrícola y generar una oferta abundante y a bajo precio de los alimentos para la población no agraria. Es el caso de los países de la Comunidad Económica Europea y de España, en el ámbito europeo.

3° Países con muchos excedentes —caso de Estados Unidos—, que, para mantener las rentas agrícolas y paliar sus desequilibrios, tienen que recurrir al control y regu-









El mundo mediterráneo es un crisol y claroscuro de influencias y de hechos dispares. La agricultura de subsistencia, con la clásica "trilogía mediterránea", ha constituido uno de los ejes fundamentales del secano mediterráneo y ha sido modelo de explotación atrasada tecnológicamente y con tendencia autárquica. En las imágenes es visible un secano entre cerealista y olivarero (D); la utilización todavía del ganado de labor es buena prueba del atraso de muchas de sus explotaciones (A). No obstante, otros paisajes agrarios mediterráneos han derivado hacia formas comerciales con tendencia al monocultivo, como se ilustra en la explotación olivarera (B) y con la panorámica de la huerta de Valencia (C), en la que junto a un elemento clásico de las grandes huertas mediterráneas, cual es el de la dispersión del poblamiento, se percibe una tendencia al monocultivo de cítricos que poco tiene ya que ver con la huerta tradicional de policultivo.



A.G.E.

Un ejemplo antológico de agricultura con tendencia autárquica es la del arrozal del Extremo Oriente Asiático, muy intensiva por otra parte, porque tiene que alimentar a masas enormes de población. En la imagen, arrozales de las llanuras de Kitakama (Japón).



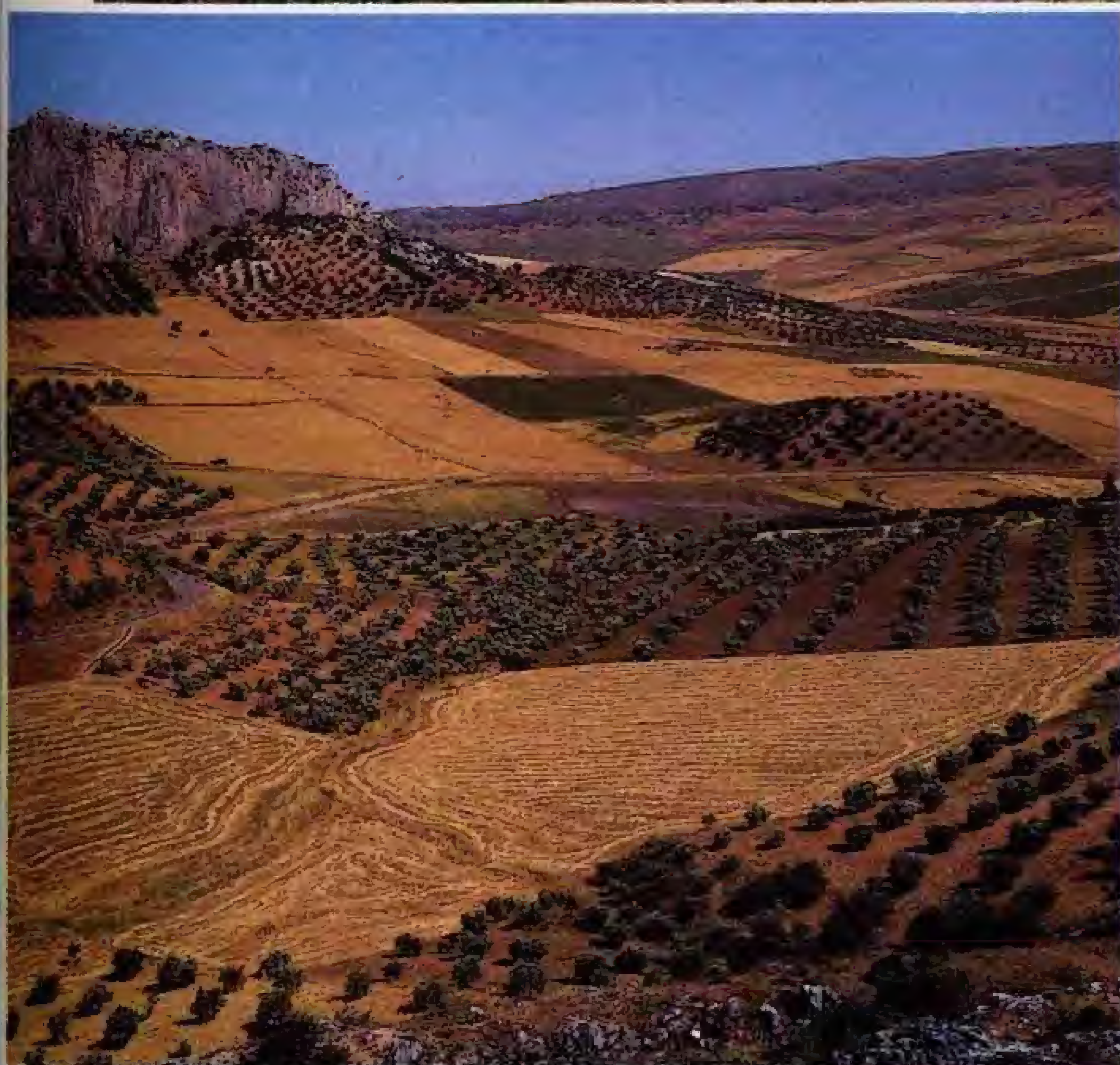


Fotos: A.G.E.



R. Serrano

Las regiones del mundo más desfavorecidas desde el punto de vista climático, con frecuencia no presentan otro aprovechamiento agrario que el de la ganadería extensiva en zonas de pastos raquíticos, con largos desplazamientos estacionales del ganado, mezcla de especies en los rebaños y difícil salida y comercialización de sus productos. En los países avanzados, estos espacios, aun dentro de aprovechamientos ganaderos también muy extensivos, presentan explotaciones mucho mayores en superficie y en número de cabezas, y cuentan con infraestructura y redes de comercialización organizadas y eficientes. Frente a este tipo de aprovechamientos, en la foto vemos uno intensivo de ganado vacuno, más típico de Europa Occidental.





De los ejemplos aludidos en estas páginas no puede inferirse que la explotación agraria avanzada sea exclusiva de los países desarrollados, pues los subdesarrollados presentan explotaciones anticuadas y tradicionales junto a explotaciones superavanzadas, como pueden ser las llamadas "plantaciones". En la imagen inferior, extracción de caucho en una plantación de Manaos.

lación de las superficies cultivadas, a garantizar ciertos precios y subvencionar la exportación, modelándose en parte su política agrícola interna como fruto de las directrices de su política internacional.

Por tanto, ese espacio agrario —en su progresión superficial y en su variedad cualitativa— depende de causas históricas —esencialmente, de los procesos de difusión de las plantas cultivadas—, demográficas, económicas y técnicas. Pero es de suma importancia resaltar, respecto a las dos últimas, que no han incidido homógeneamente en las transformaciones tecnológicas de industrialización y comercialización acaecidas en la agricultura mundial, produciéndose lo que Pierre George, acertadamente, ha llamado "liberación desigual de los espacios agrarios". Lo cual, en parte, depende también de los distintos sistemas económicos y sociales, pudiéndose distinguir hoy tres tipos de agricultura mundial, que podemos denominar: agricultura tradicional autárquica, agricultura de mercado y agricultura colectivista.

A.G.E.



Agricultura tradicional autárquica Es la que se practica en gran parte de los países subdesarrollados, que no son ajenos, sin embargo, a las formas de la agricultura de mercado. Se extiende, pues, por muchas zonas de Asia, Africa, América Latina y países mediterráneos, comprendiendo más de dos tercios de la Humanidad.

Su rasgo más esencial es que el campesino tiende a producir lo que consume, con escasos excedentes para el mercado. De aquí que su sistema "cultural" por antonomasia sea el policultivo, único capaz de originar la gama de productos necesarios para la subsistencia.

El protagonista indiscutible de este tipo de agricultura es el campesino, con sus agobios y su trabajo, su apego al terruño y sus inercias, sus pequeñas explotaciones y sus herencias, sus arrendamientos y sus aparcerías; en suma, con su tragedia sobrecogedora. Por su número y problemática a escala mundial, se comprende el *boom* bibliográfico de los últimos años en torno al tema del campesinado.


A.G.E.


A.G.E.


A.G.E.


A.G.E.

Es, por otra parte, una agricultura de técnicas elementales en cuanto a aperos, de organización rudimentaria en cuanto a comercialización y de mínimas infraestructuras agraria y de transporte.

Por todo lo dicho, a su vez, la dependencia de la agricultura tradicional en cuanto a contingencias climáticas, estacionalidad de las lluvias y suelos es acusada, por lo que son dramáticamente normales en ella las carencias estacionales y las hambres periódicas. Si la presión demográfica es escasa, se puede practicar un cultivo discontinuo en el espacio que permita asegurar una cierta fertilidad natural en cada siembra y una reconstitución mediante largos barbechos, de hasta más de 20 años. Este es el *cultivo itinerante*, quintaesencia de la agricultura de subsistencia.

Agricultura de mercado Es la propia de países desarrollados y altamente industrializados y urbanizados, en los que es preciso asegurar alimentos a mucha población no agraria. Se trata de una agricultura comercial, en la que el productor está movido principalmente por el beneficio y no por el autoabastecimiento. Esta agricultura es, en suma, una economía.

Se caracteriza, además, por la tendencia a la especialización de los terrazgos de acuerdo con sus potencialidades agroclimáticas, edáficas y demanda de mercado, por lo que con frecuencia se originan auténticos monocultivos.

Igualmente, tiende a predominar la gran explotación por razones de ahorro de costes (economías de escala) y para optimizar el rendimiento de las máquinas, ya que en ella se da la utilización masiva de los adelantos técnicos, mecánicos y biológicos, bien para aumentar el rendimiento por hectárea —caso de que interese la agricultura intensiva— o bien para ahorrar mano de obra y disminuir los costes por hectárea —caso de la agricultura extensiva—.

Por último, se trata de una agricultura inestable, ya que depende del mercado, y en éste son reiteradas las distorsiones, y porque con frecuencia los productos son de demanda cara (frutas, hortalizas, flores, etc.), y, por ello, especialmente sensibles a las crisis. Esta inestabilidad es especialmente frecuente en la llamada *agricultura especulativa*, por ejemplo la de "trata" y "plantación", calificada como "la forma superlativa de la economía de mercado".

Agriculturas colectivistas En los países de economía socializada, que han transferido la tierra a poder del Estado, la agricultura, en sus aspectos técnicos y productivos, puede presentar rasgos de uno y otro de los tipos antes analizados. Piénsese, por ejemplo, en la profunda diferencia entre un progresivo *sovjoz* soviético y una atrasada *comuna* del interior de China. Pero, en conjunto, esta agricultura se puede distinguir por los dos rasgos peculiares que siguen:

• El mercado y la producción están planificados por el Estado, como también, al menos teóricamente, el consumo previsto. Por tanto, las distorsiones que pueden presentarse son de otro tipo que las provenientes del libre juego de la oferta y la demanda. Por ello, el Estado, en sus "planes", fija los precios, dictamina sobre los programas de cultivo, calcula la producción, etcétera.

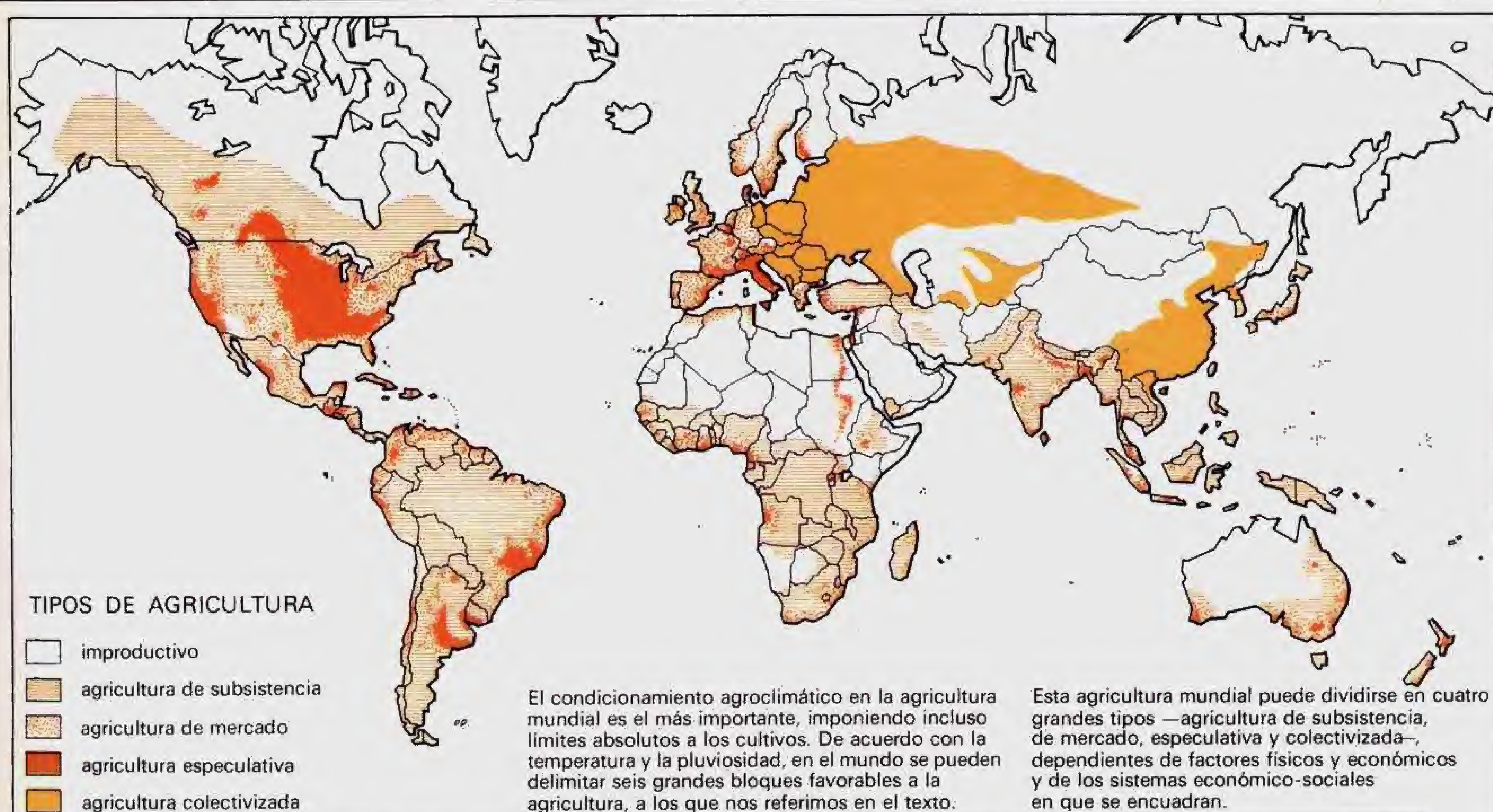
• Por otra parte, las explotaciones de titularidad jurídica estatal o colectiva han sucedido a la propiedad individual anterior, que no obstante puede subsistir en mayor o menor medida. Pero las variedades dentro de este esquema básico son muchas. En la URSS hay *sovjozes*, de titularidad y explotación estatal, y *koljozes*, explotaciones colectivas coincidentes con los antiguos términos municipales. En Polonia, la pequeña propiedad privada campesina no colectivizada es muy importante. En China, las *comunas* rurales aspiran a la puesta en común de bienes no sólo agrícolas sino de otros sectores económicos, e incluso al fomento de la vida en común de los habitantes. También caben formas colectivas para las explotaciones agrarias en países de economía no socializada, como en Israel con sus *kibbutz* y otras formas cooperativas.

En el llamado "mundo libre", la que hemos denominado agricultura de mercado, pese a su racionalización, productivismo y tecnificación, no ha podido aún resolver muchos problemas, como los siguientes: producción de alimentos suficientes para una población en crecimiento galopante; crisis periódicas de mercado que afectan sobre todo a los países del Tercer Mundo; fomento de la proletarización de un campesinado pobre, que constituye la reserva de mano de obra que faculta beneficios sustanciosos; monopolio del poder político y social en medios rurales. De aquí el clamor de la reforma agraria en tantos países del Planeta. Pero aun en el caso de que hubiese resuelto la agricultura de mercado todos esos problemas, no puede conferírsele un cheque en blanco en sus actuales planteamientos, porque está desencadenando una serie de efectos ecológicos nocivos, a los que conviene aludir, aunque muchos de ellos también sean propios de otras formas de agricultura.

Entre esos efectos ecológicos nocivos destacan sobremanera la reducción del área agrícola mundial por erosión edáfica, la anegación y salinización de los terrenos regadíos y la competencia campo-ciudad.

La erosión edáfica, abrumadora y galopante, es verdad que se ve facilitada por condiciones naturales, principalmente climáticas, sobre todo en los márgenes desérticos, pero en su consumación es consecuencia de actividades del hombre, como son la deforestación desconsiderada, el

En las grandes explotaciones, la tecnificación de las distintas labores agrícolas introduce significativas economías de escala, a la vez que permite incrementar la producción, los rendimientos y la productividad. En las imágenes, avioneta de fumigación, moderno tren de riego, cosechadora de cereales y empacadora de paja, y transporte de granos en un carguero a pie de un silo portuario. Estas imágenes son expresión de una agricultura tecnológica y comercialmente muy avanzada.



El condicionamiento agroclimático en la agricultura mundial es el más importante, imponiendo incluso límites absolutos a los cultivos. De acuerdo con la temperatura y la pluviosidad, en el mundo se pueden delimitar seis grandes bloques favorables a la agricultura, a los que nos referimos en el texto.

Esta agricultura mundial puede dividirse en cuatro grandes tipos —agricultura de subsistencia, de mercado, especulativa y colectivizada—, dependientes de factores físicos y económicos y de los sistemas económico-sociales en que se encuadran.

pastoreo abusivo, los monocultivos que engendran destrucción selectiva de nutrientes y distorsión de la estructura del suelo (con consecuencias casi apocalípticas en el medio intertropical lluvioso, como está ocurriendo en sectores del Amazonas), el cultivo en terrenos de excesiva pendiente, y otras prácticas de cultivo, como exceso de barbecho, uso abusivo de fertilizantes, quema de rastrojos, etcétera.

La consecuencia extrema de la erosión del suelo es la *desertización*, que hace que la tierra deje de servir para la agricultura y para ser habitada por el hombre, habiendo desparecido de ella la capa vegetal y de suelo fértil y quedando solamente un sustrato inerte. Y este es el pronóstico aterrador para el mundo del año 2000 sobre el tema: "La desertización será probablemente uno de los factores más importantes en la modificación del paisaje desde hoy día al año 2000". Si para el año 2000 se convirtieran en desiertos todas las tierras que las Naciones Unidas ha clasificado como "con grandes probabilidades de desertización", los desiertos ocuparían más de tres veces los 7.992.000 km^2 que ocupaban en el año 1977.

Además de la reducción del área agrícola, otros efectos ecológicos de la actual actividad agrícola son la contaminación por fertilizantes y pesticidas, el empobrecimiento genético de especies animales y vegetales y el balance energético deficitario de la agricultura, que invierte más energía que la que obtiene de sus producciones, situación que se ha podido mantener sólo con precios baratos de la energía y con un falso optimismo sobre la perdurabilidad de sus recursos.

En último término, todo esto está ocurriendo porque la agricultura moderna ha olvidado principios tan fundamentales como los siguientes:

• Que el ecosistema es un "ecosistema truncado" o "ecosistema exportador", en el sentido de que el hombre lo organiza para producir una cierta calidad y cantidad de materia viviente vegetal o animal, y que, sólo en la medida en que el biotopo puede ir reproduciéndose por la fotosíntesis, podrá ir cumpliendo su cometido.

• Que los aumentos de producción agrícola conseguidos en los últimos decenios no se han debido tan sólo a los progresos tecnológicos y agronómicos, sino, también, a que esta intensificación ha estado "comiéndose" una parte del capital-tierra, bien por empobrecimiento y agotamiento de los recursos edáficos, bien por el traslado físico del suelo por erosión.

• Que, en suma, en agricultura no se puede practicar una "economía de rapiña" *(Raub-Wirschaft)*, como tantas veces hasta ahora, pues, en expresión muy campesina, esto es "hartura para hoy pero hambre para mañana", que es ya presente incoado.

Véase **Cereales; Cultivos; Fertilizantes; Herbicidas; Hidropónicos, cultivos; Maquinaria agrícola; Regadío, sistemas de; Semillas.**

Pero la moderna agricultura también es dependiente en grado sumo de los avances biológicos que en genética pueden obtener muchas variedades e híbridos de una misma especie, como puede observarse en este gráfico. Esos mismos avances biológicos han experimentado un progreso espectacular en el terreno de los herbicidas, fungicidas, etcétera.













Agua

El agua ocupa la mayor parte (alrededor del 70%) de la superficie de nuestro planeta, constituyendo el compuesto químico más abundante en los organismos vivos y siendo, en particular, el principal componente del citoplasma, el fluido encerrado en el interior de la célula. Se mueve incesantemente por la superficie terrestre, haciendo circular gran cantidad de sustancias y modelando las formas del relieve, y está presente en las actividades tanto industriales como agrícolas del hombre. Representa un extraordinario "punto de encuentro" entre la materia inerte y la viva y constituye una de las columnas que soportan la base estable del edificio de la comunidad biológica de la Tierra.

Todas estas prerrogativas están encerradas en las simples moléculas de un compuesto químico muy común que el filósofo griego Tales de Mileto (siglo VI a. de C.) consideraba la sustancia fundamental originaria de todas las cosas materiales: el agua. La convicción de Tales se basaba en pruebas que, para los conocimientos científicos de aquel tiempo, resultaban decisivas. De todas las sustancias conocidas, el agua es la que puede presentarse en las más variadas formas: como cuerpo sólido en el hielo y en la nieve, como líquido en los mares, ríos y lagos, y como vapor en las nubes. Es como si se transformara en tierra en los deltas de los ríos, así como parece nacer de la tierra y de las rocas de las que brota. En cualquier lugar donde haya vida el agua está presente.

Durante más de dos mil años el agua fue considerada como un cuerpo simple hasta que en 1783 el químico francés A. L. Lavoisier llegó a definir su naturaleza de compuesto. Hoy sabemos que el agua está formada por átomos de dos elementos distintos: hidrógeno (H) y oxígeno (O). Cada molécula contiene dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno; por tanto, su fórmula es H_2O.

La función neurálgica que el agua tiene en la Tierra, y en particular en la biosfera, es una consecuencia de las innumerables y poco comunes propiedades que confluyen en este compuesto único. Por este motivo vamos a tratar de conocer más detalladamente su carné de identidad físico-químico.

Hidrógeno y oxígeno: una atracción irresistible Podemos considerar el agua como el producto de la combustión (oxidación) del hidrógeno con el oxígeno del aire. El hidrógeno es un gas más ligero que el aire y bastante inestable. Debido a su poco peso, fue durante un tiempo utilizado para la sustentación de los dirigibles, hasta que después de la tragedia del dirigible alemán *Hindenburg*, que se incendió y explotó en 1937, se observó que su inestabilidad química, o sea, su gran tendencia a arder violentamente con el oxígeno, constituía un inconveniente demasiado grave para su uso, y fue, por tanto, abandonado.

La espectacular reactividad entre hidrógeno y oxígeno quiere decir que entre los dos elementos existe una fuerte "atracción" química que se manifiesta en el hecho de que el producto de su unión, esto es, la molécula de agua, es extremadamente estable. Intentar romper los enlaces del agua no es empresa fácil; debido a esa estabilidad, la vida puede "confiar" en ese compuesto.

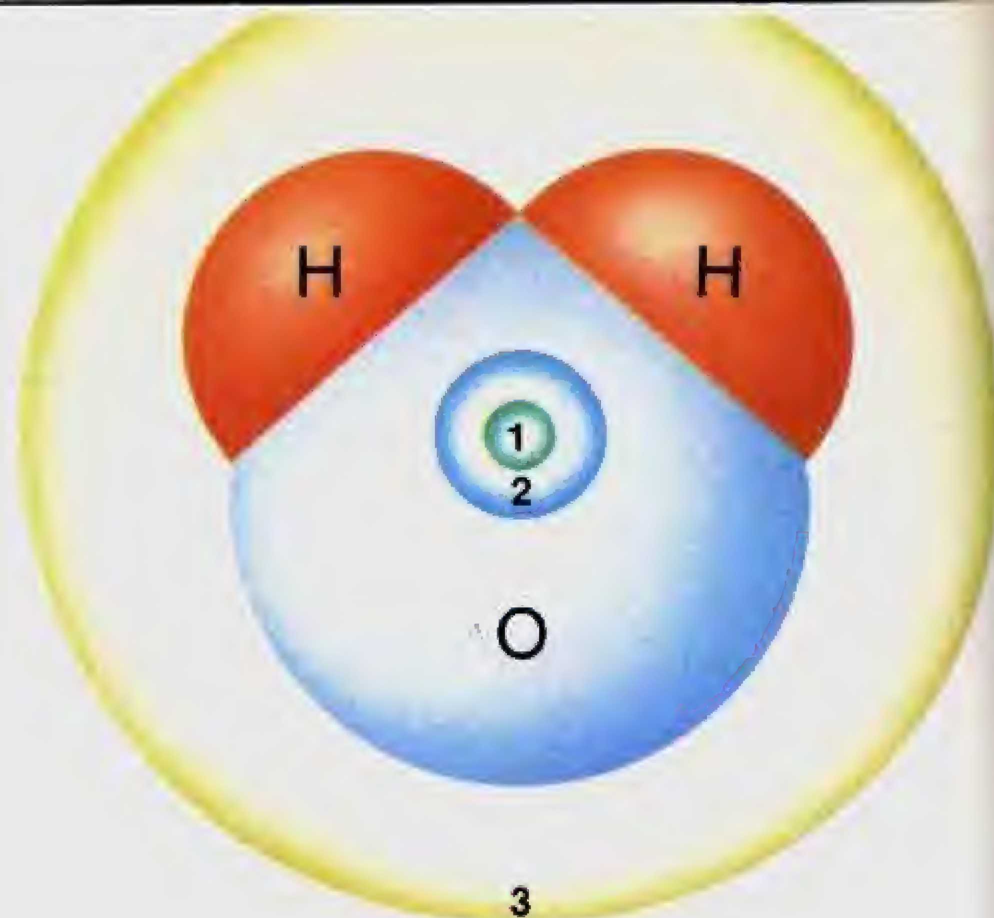
Los enlaces que en el agua mantienen unidos dos átomos de hidrógeno al átomo de oxígeno son de un tipo denominado *covalente*: un enlace es covalente cuando los átomos que participan en la formación de un compuesto comparten un electrón. De esta forma cada enlace está formado por una pareja de electrones; el hidrógeno, que posee un único electrón, puede formar un único enlace. Respecto al oxígeno, que posee seis electrones de enlace (los más exteriores), podría pensarse que formara seis enlaces; sin embargo, los enlaces que este elemento forma normalmente son sólo dos, como sucede en el caso del agua.

De esta forma, como se puede apreciar, el oxígeno se encuentra circundado por ocho electrones exteriores, tantos como posee el gas noble neón que le sigue en la tabla periódica de elementos. Dado que la configuración electrónica exterior de los gases nobles está entre las más estables de las conocidas, los elementos tienden, generalmente mediante reacciones químicas, a adquirir o a perder el número de electrones necesarios para dotarse de una cubierta electrónica igual a la del gas noble que le sigue o le precede inmediatamente en la llamada tabla periódica de elementos.

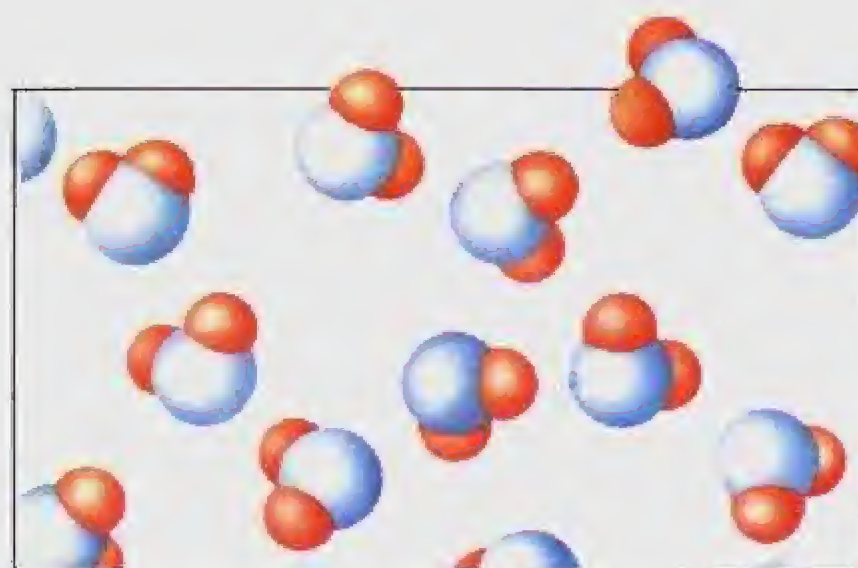
H_2O: la molécula de los mil recursos Aunque la unión entre hidrógeno y oxígeno en la molécula de agua esté entre las más felices, el par de electrones de enlace no resulta compartido de forma equilibrada. El oxígeno tiene más avidez de elec-

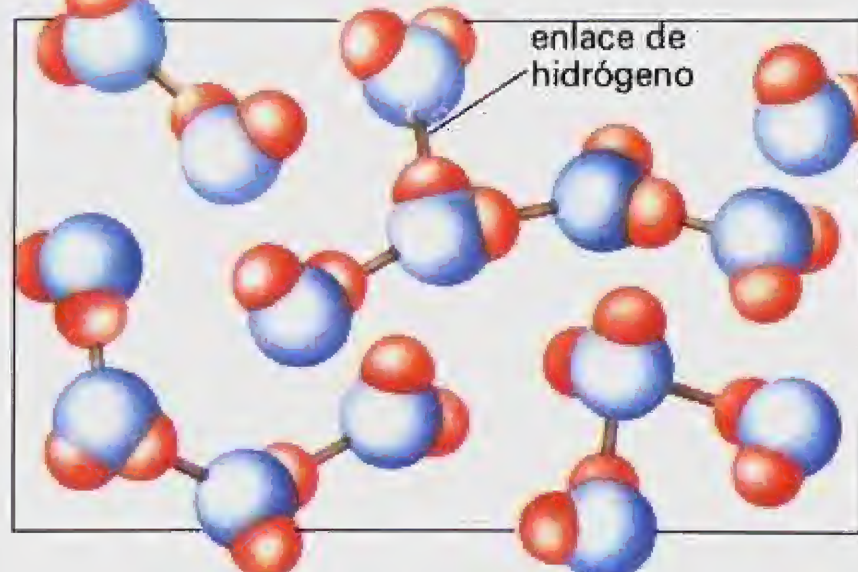
Arriba, a la derecha, estructura de la molécula de agua, formada por dos átomos de hidrógeno enlazados a uno de oxígeno.

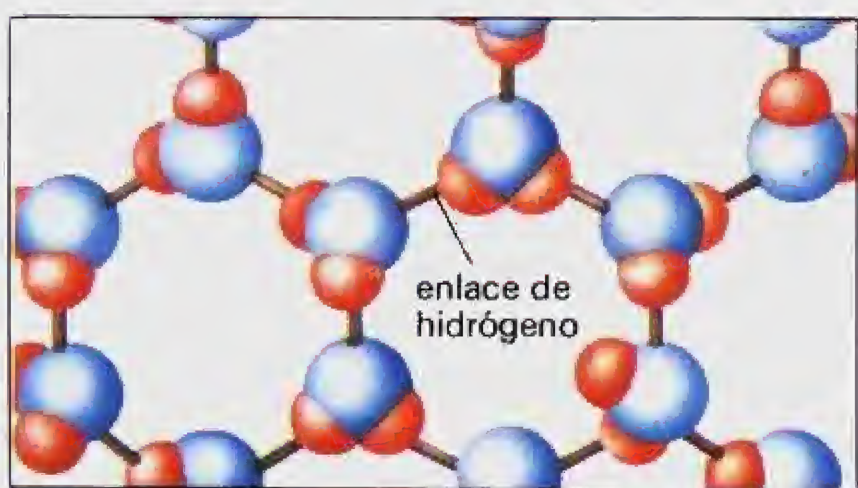




Las coronas esféricas (en proporciones crecientes y en los mismos colores que las bandas laterales en las que se indican los valores del agua en kilómetros cúbicos) representan la repartición de las disponibilidades de agua en la Tierra en sus diferentes formaciones, esto es, biosfera y atmósfera, lagos y ríos, aguas subterráneas, hielos y glaciares polares, mares y océanos. El agua se presenta en la Naturaleza en tres estados diferentes, gaseoso, líquido y sólido. En las figuras de al lado, y de arriba abajo, están representados respectivamente el vapor de agua, el agua en estado líquido y el agua en forma de hielo. En el vapor de agua las moléculas se mueven libremente y de modo desordenado. En el agua en estado líquido las moléculas tienden a reagruparse debido a la formación de los denominados enlaces de hidrógeno, consecuentemente con la estructura dipolar del agua (los enlaces de naturaleza electrostática se producen entre los átomos de hidrógeno y de oxígeno de moléculas distintas en los que están localizadas cargas parciales de signos opuestos, positivas en el hidrógeno, negativas en el oxígeno). A medida que la temperatura disminuye, los grupos moleculares se unen hasta formar una estructura hexagonal compacta en el hielo, del que observamos, arriba, un cristal típico.



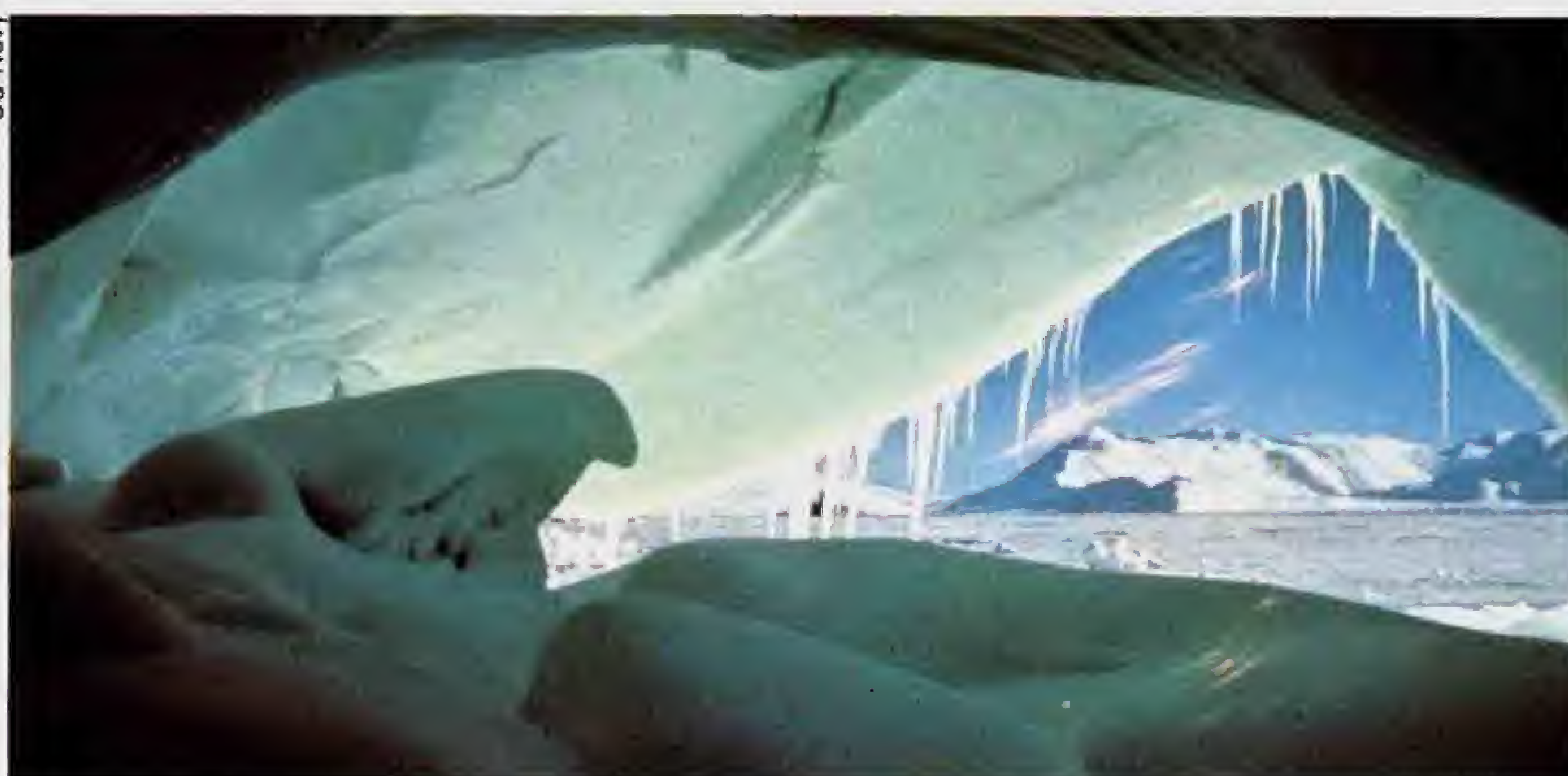




5

1	biosfera-atmósfera	13.600 km³
2	lagos y ríos	200.000 km³
3	aguas subterráneas	8.400.000 km³
4	hielos polares y glaciares	29.000.000 km³
5	océanos	1.350.000.000 km³

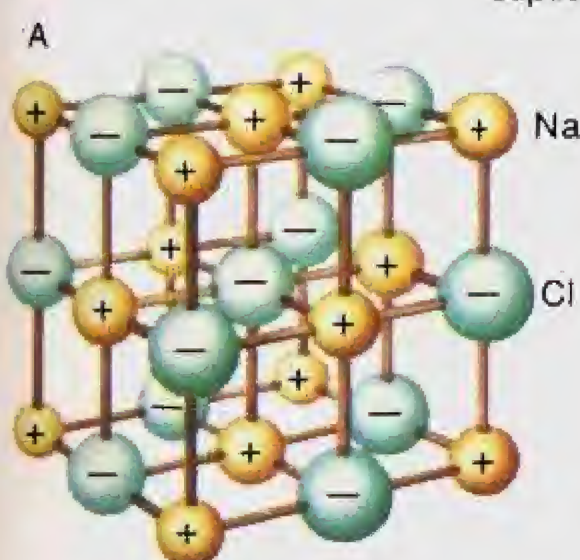
US Navy



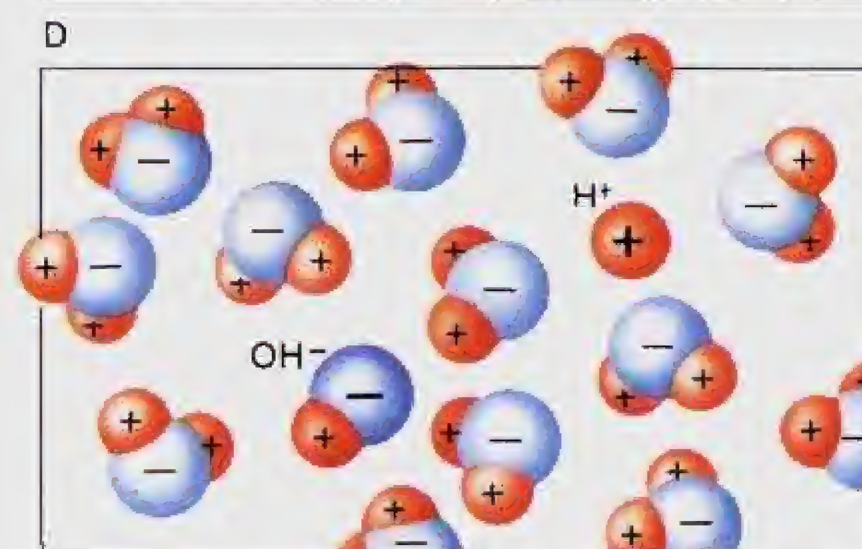
4

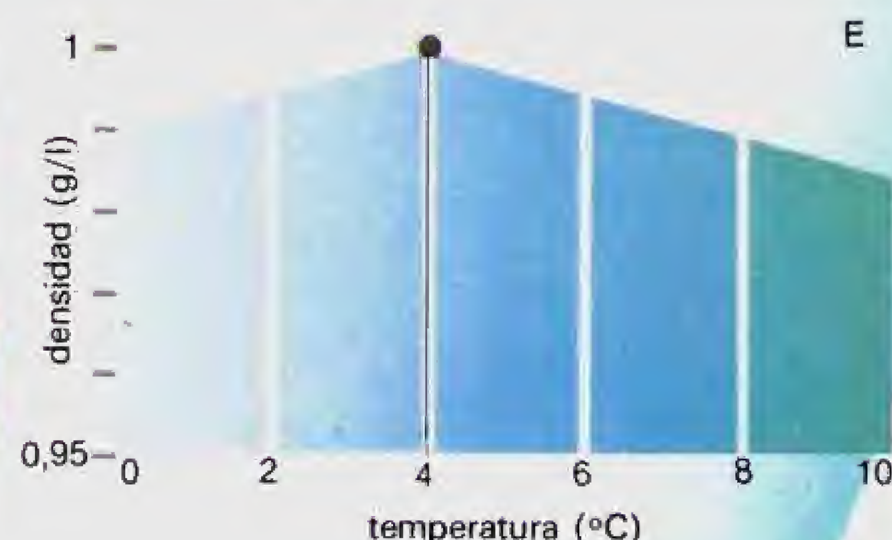
En la imagen de al lado se aprecia un paisaje antártico, recubierto enteramente por capas de hielo.

A

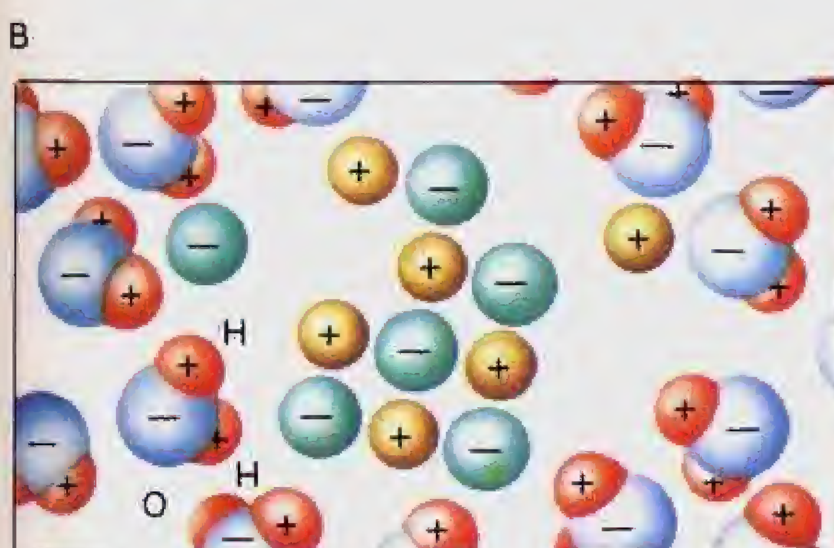


D

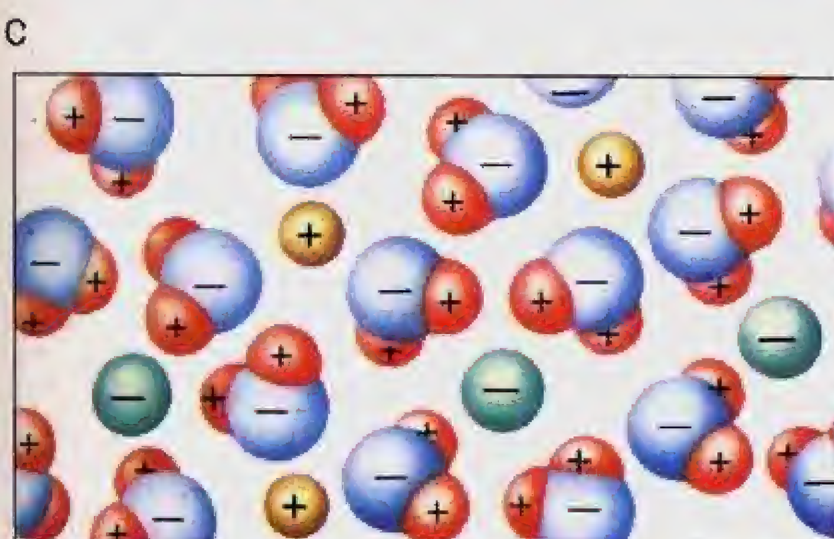




B



C



En las moléculas de agua el átomo de oxígeno atrae hacia sí con más "fuerza" las dos parejas de electrones de enlace con cada átomo de hidrógeno. Debido a esto, en el átomo de oxígeno se encuentra localizado un exceso de carga positiva (+). Las moléculas de agua son, por tanto, minúsculos *dipolos eléctricos*, por lo que disuelven todos aquellos compuestos que presentan enlaces de tipo electrostático. Una sal como el cloruro sódico (A), formada por iones de cloro negativos Cl^- y por iones de sodio positivos Na^+, se disuelve en el agua porque esta última envuelve los iones Cl^- y Na^+ con su extremidad positiva o negativa respectivamente, rompiendo los enlaces del cristal (B y C). Incluso en el agua destilada, una pequeña fracción de moléculas sufre una disociación análoga en iones H^+ y OH^- (D). Otra propiedad del agua es la de presentar su máxima densidad a 4 °C, esto es, a una temperatura en la cual está todavía en estado líquido (esquema E). El hielo, que se forma a 0 °C, es menos denso y, por tanto, flota.

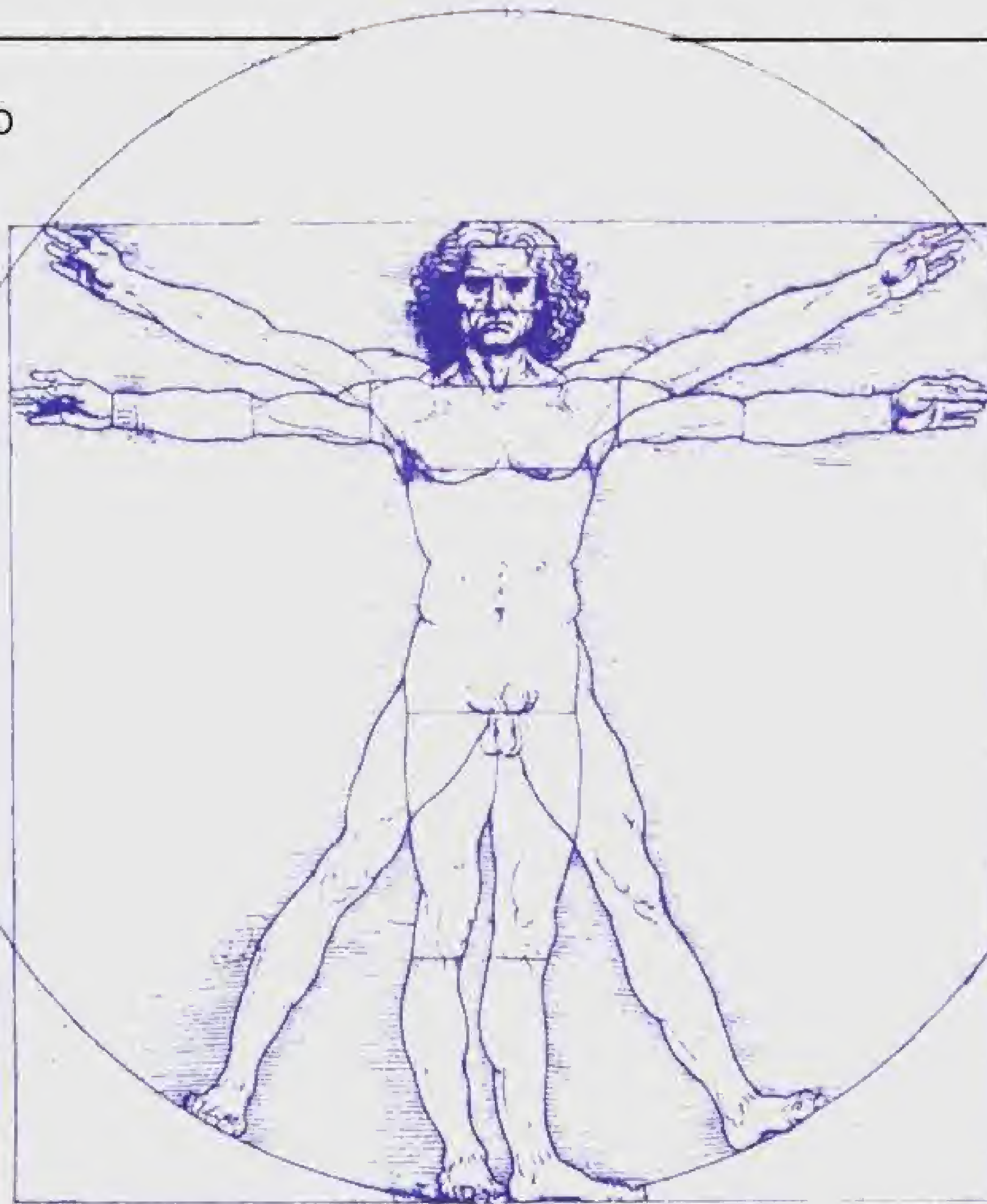
trones, atrayéndolos hacia sí con más fuerza que el hidrógeno. Este hecho reviste consecuencias muy importantes, ya que hace a la molécula de agua similar a un minúsculo *dipolo eléctrico*. Un dipolo es un cuerpo que, aun siendo en conjunto eléctricamente neutro, posee cargas eléctricas de signos contrarios concentradas en los extremos (presenta, como se suele decir, una separación de cargas). En el agua, las dos cargas positivas (protones) de los núcleos del hidrógeno están sólo parcialmente neutralizadas por los electrones de enlace, demasiado atraídos hacia el oxígeno, mientras que este último viene a poseer, por el contrario, un exceso de carga negativa respecto a los protones de su núcleo.

Dado que las cargas de sentido opuesto se atraen, entre las propias moléculas de agua se establecen enlaces electrostáticos entre la extremidad positiva de una (correspondiente a los dos átomos de hidrógeno) y el extremo negativo de la otra (correspondiente al átomo de oxígeno). En la práctica, las moléculas de agua aparecen asociadas entre sí formando grupos mediante los denominados *enlaces de hidrógeno*. La presencia de estos enlaces intermoleculares, que actúan como pegamento interno, explica por qué el agua tiene un punto de ebullición más elevado de lo que se podría esperar, y explica también por qué para evaporar un kilogramo de agua se necesita casi el triple de la energía necesaria para evaporar un kilogramo de alcohol etílico y casi ocho veces la necesaria para evaporar un kilogramo de mercurio. Este hecho, visto en otros términos, significa que el agua, cuando se evapora, absorbe del ambiente grandes cantidades de calor, esto es, lo enfría. Obviamente, durante el proceso inverso, el de la condensación o licuación, se cede la misma cantidad de calor, caldeándose el ambiente; todo esto tiene una importancia climática fundamental si se piensa que cada año se evaporan y precipitan sobre la Tierra cerca de quinientas mil toneladas de agua.

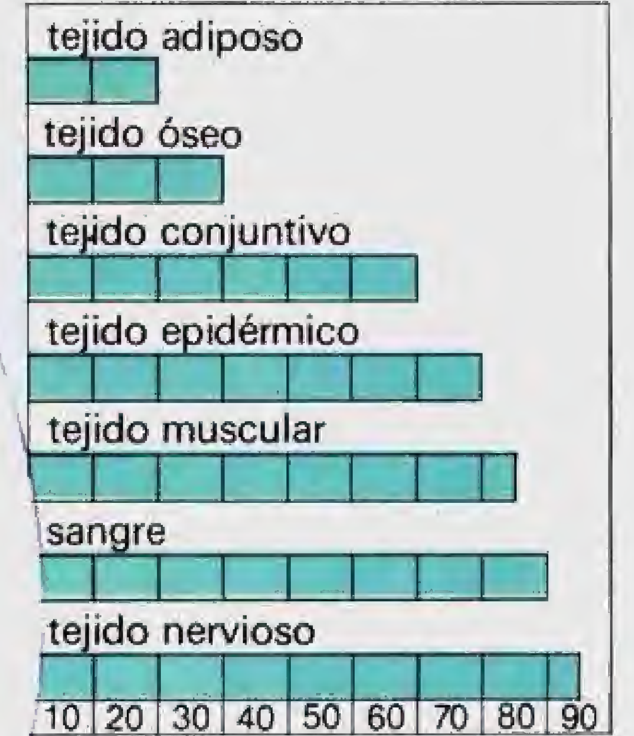
Otra consecuencia de la presencia de los enlaces de hidrógeno es la elevada *tensión superficial* que posee el agua. La tensión superficial es la propiedad por la cual los líquidos tienden, con más o menos fuerza, a permanecer agrupados sobre sí mismos cuando mojan otra superficie, como si poseyeran una membrana superficial, más o menos resistente, que se opone a la ruptura. El mercurio, que posee una tensión superficial elevadísima, en lugar de *derramarse* sobre una superficie se rompe en una miríada de gotitas casi esféricas. Aun no pudiendo competir con el mercurio, el agua tiene una tensión superficial bastante más elevada que otros líquidos comunes, debido a que los enlaces de hidrógeno tienden a "mantener juntas" las moléculas superficiales. Debido a esta circunstancia las gotas de lluvia mantienen un aspecto casi esférico que, además, hace que su impacto con el terreno tenga una efi-

BALANCE DE AGUA
DEL ORGANISMO EN EQUILIBRIO
FISIOLOGICO

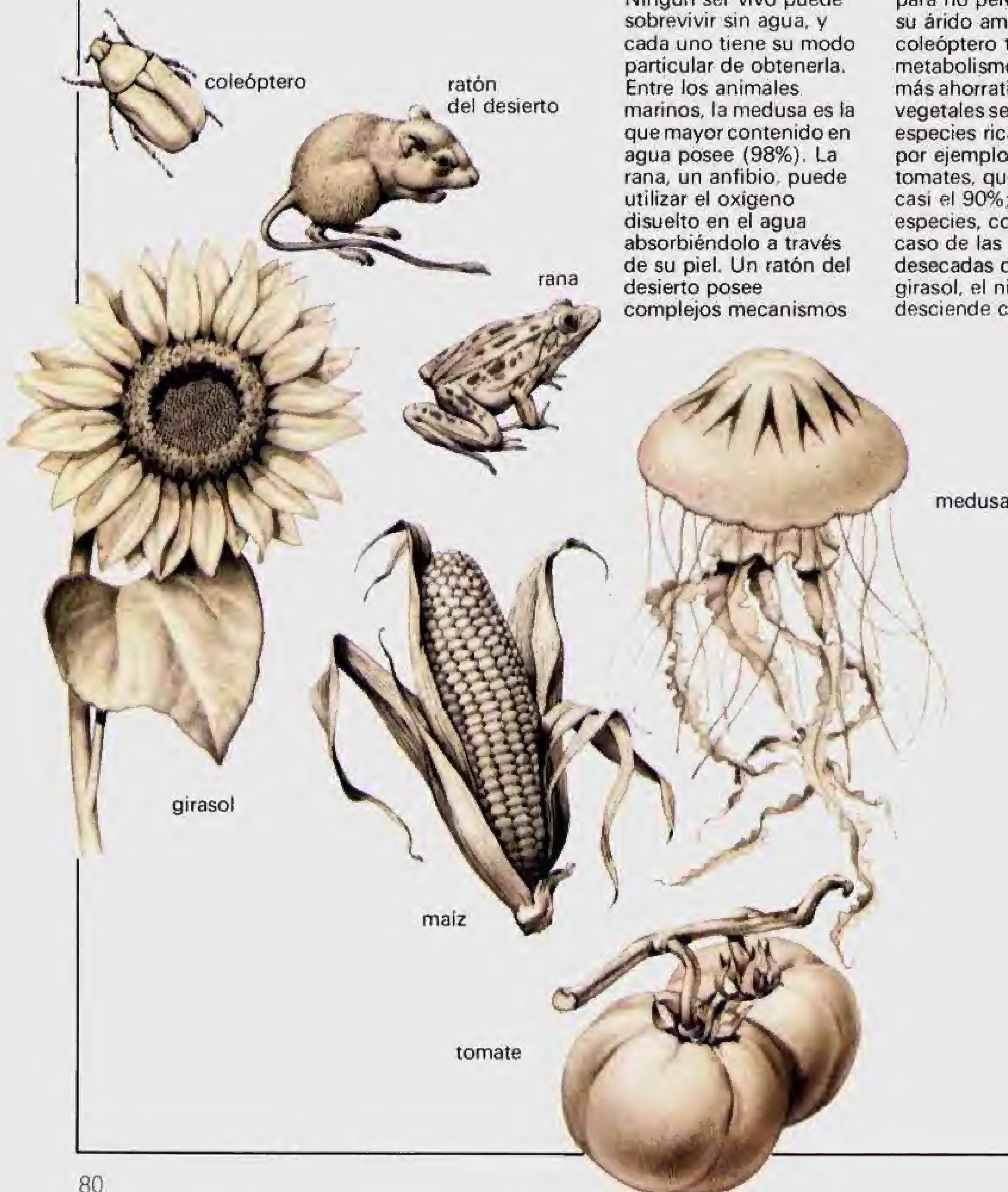




PORCENTAJE DE AGUA
EN LOS TEJIDOS



El organismo humano está principalmente constituido por agua, representando casi el 70% del peso corporal. El contenido de agua varía según los diferentes tejidos. La necesidad diaria de agua de un adulto se cifra en torno a los 2,5-2,7 litros. El agua se elimina sobre todo a través de los riñones, mediante la orina.



Ningún ser vivo puede sobrevivir sin agua, y cada uno tiene su modo particular de obtenerla. Entre los animales marinos, la medusa es la que mayor contenido en agua posee (98%). La rana, un anfibio, puede utilizar el oxígeno disuelto en el agua absorbiéndolo a través de su piel. Un ratón del desierto posee complejos mecanismos para no perder agua en su árido ambiente. Un coleóptero tiene un metabolismo todavía más ahorrativo. Entre los vegetales se encuentran especies ricas en agua, por ejemplo, los tomates, que contienen casi el 90%; en otras especies, como en el caso de las semillas desecadas de maíz y girasol, el nivel de agua desciende casi al 10%.

cacia erosiva notable. Relacionada con la tensión superficial del agua está la capacidad de la misma de ascender a lo largo de tubos capilares, hecho que reviste gran importancia en el mecanismo de absorción, transporte y eliminación del agua en los organismos vegetales.

Disolvente universal El agua es uno de los mejores disolventes que existen en la Naturaleza. El secreto radica en la particular "habilidad" con la que logra disociar en iones (esto es, átomos con un exceso de carga eléctrica positiva o negativa) compuestos tales como ácidos, bases y sales (que presentan enlaces de naturaleza electrostática o iónicos). El agua posee esta propiedad por el hecho de tener una elevada *constante dieléctrica*, que es, a su vez, una consecuencia directa de la naturaleza dipolar de sus moléculas. Las moléculas de agua en presencia de partículas cargadas, como pueden ser, por ejemplo, los iones positivos del sodio y los iones negativos del cloro que constituyen un cristal de cloruro sódico, tienden a colocarse con la parte positiva hacia los iones negativos de cloro y con la parte negativa hacia los iones positivos de sodio. De esta manera crean una especie de "pantalla" que debilita los enlaces iónicos que mantienen unidos los iones de sodio con los de cloro. De hecho, éstos quedan "rodeados" por moléculas de agua mediante un fenómeno denominado *hidratación*. En estas condiciones, lo que antes era un cristal de sal se transforma en algo prácticamente indistinguible del agua, dado que los iones de sodio son "desmontados" de su edificio cristalino y "englobados" uno a uno entre moléculas de agua.

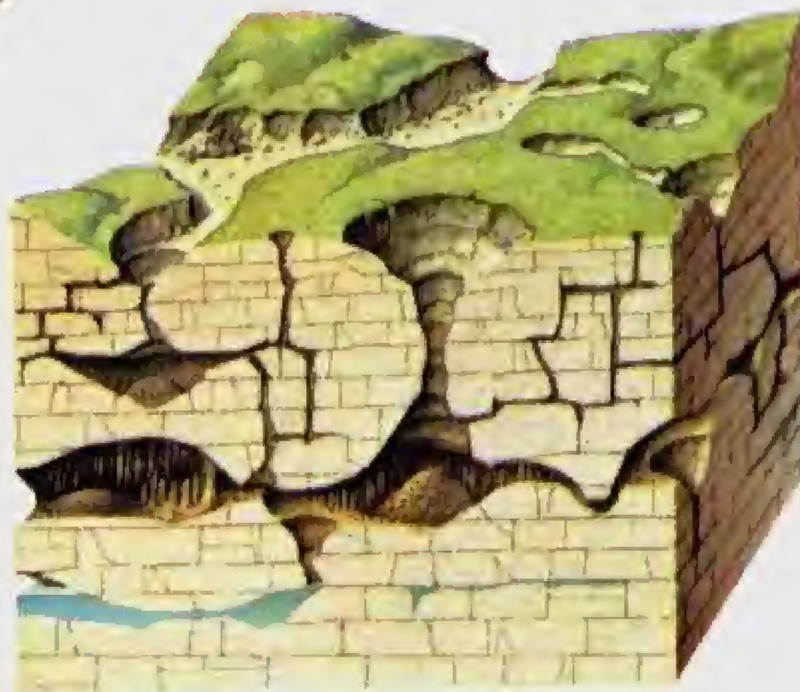


glaciar



erosión fluvial

El agua, bien sea en estado sólido o en estado líquido, juega un papel fundamental en el modelado de la superficie terrestre. El efecto del agua en estado sólido se manifiesta particularmente en la acción de los glaciares, que erosionan mecánicamente las rocas del lecho del glaciar. Una erosión más moderada es la ejercida por las aguas superficiales (erosión fluvial), las cuales, además, acarrean al mar sólidos y solutos que se depositarán formando sedimentos, que a su vez formarán rocas que, en un futuro lejano, podrán volver a la superficie. Importantísima es la acción química que las aguas superficiales y subterráneas ejercen sobre las rocas, alterando su composición, transportando minerales y formando yacimientos. La erosión por disolución de las calizas y dolomías genera el *karst*, que es uno de los tipos de relieve más llamativos y espectaculares. También la violencia de la acción mecánica de las aguas marinas, mediante las olas, provoca la erosión de las costas y es el origen de la formación de acantilados y playas. A su vez, la lluvia y el viento completan la acción erosiva del agua.



karst



erosión marina

El agua, sin embargo, no es capaz de disolver todas las sustancias; en particular, no puede disolver las sustancias oleosas y grasas, lo que representa un inconveniente cuando, por ejemplo, se hace la colada. Este obstáculo se obvia mediante el uso de jabones y detergentes cuyas moléculas tienen la facultad de poseer una parte capaz de disolverse en las grasas (denominada *lipófila*) y otra capaz de hacerlo en el agua como cualquier sal (denominada *hidrófila*). En la práctica, lo que sucede es que la extremidad lipófila se introduce en la materia grasa u oleosa y la fragmenta en una gran cantidad de partículas que, al estar circundadas por una envoltura de cargas eléctricas presentes en la extremidad hidrófila del jabón o del detergente, son disueltas como si de un gran ion se tratara.

El hielo, un sólido anómalo Cuando el agua solidifica transformándose en hielo (lo que se verifica a 0 °C y a 760 mm de presión), se produce un hecho por todos conocido: el hielo empieza a separarse, flotando en la superficie del agua. A medida que van adquiriendo la estructura cristalina del hielo, las moléculas del agua se separan unas de otras y, como resultado, se obtiene una dilatación volumétrica próxima al 1,8%. El hecho de que el hielo sea un cuerpo menos denso que el agua, amén de constituir una rara excepción a la regla según la cual todas las sustancias cuando se solidifican se vuelven más densas, reviste una importancia biológica y geológica fundamental. Cuando un río o un lago se hielan, el hielo permanece en la superficie y de este modo no sólo no impide la vida acuática del sustrato, sino que hace la función de una capa aislante, evitando que toda el agua se transforme en hielo. Desde un punto de vista geológico, el agua, congelándose entre las fisuras y diaclasas de las rocas y, por lo tanto dilatándose en su interior, provoca la disgregación de las mismas al actuar como una cuña.

Al mencionar el hecho de que el agua solidifica a 0 °C hemos agregado: "y a 760 mm (1 atm) de presión". Esta observación es necesaria dado que, al variar la presión, la temperatura de solidificación (o si se prefiere, la de fusión del hielo) varía. De hecho, a una presión unas ciento treinta y cinco veces superior a la atmosférica el hielo funde a −1 °C. En la base de los glaciares, donde la gran capa de hielo ejerce presiones altísimas, el hielo se funde formando un "velo" de agua que permanece líquido incluso a temperaturas muy inferiores a 0 °C. Por ello, deslizándose sobre este estrato de agua, como si de un lubricante se tratara, el hielo puede realizar su lento movimiento de avance.

Las sorpresas que proporciona el agua son muchas más. Una de ellas está en relación con la variación que experimenta su densidad al variar la temperatura. Si partimos de 100 °C y disminuimos la temperatura hasta los 4 °C, se observa que el agua se comporta como cualquier otra sustancia, por cuanto su densidad aumenta regularmente hasta alcanzar, a 4 °C, el valor de 1 g/cm^3 (que es el valor de densidad "estándar" asignado al agua). Sin embargo, si seguimos disminuyendo la temperatura hasta 0 °C, acaece un hecho insólito: la densidad del agua comienza a disminuir, o lo que es lo mismo, el agua se dilata como consecuencia de un enfriamiento (y, como sabemos, esta dilatación de su estructura cristalina prosigue con un salto todavía más brusco cuando el agua se transforma en hielo). El hecho de que el agua presente su máximo de densidad a 4 °C comporta gravísimos inconvenientes para las redes de conducción de agua. Algunas veces, debido a imprevistas disminuciones de la temperatura por debajo de los 4 °C, las conducciones pueden sufrir graves daños y, en casos extremos, pueden incluso reventar.

Véase **Acidos y bases; Agua, ciclo del; Detergentes; Enlace químico y valencia; Gases nobles; Ion; Sales**

Agua, ciclo del

Cuando llueve, existe la posibilidad, por muy pequeña que ésta sea, de que algunas de las moléculas de agua que caen sobre nuestra cabeza hayan caído ya sobre nosotros anteriormente, ya que en nuestro planeta el agua circula continuamente por la atmósfera, tierras emergidas, lagos, ríos, y océanos. Ese movimiento del agua es el denominado *ciclo hidrológico* o *ciclo del agua*: un proceso complejo y repetitivo que continúa sin principio ni fin y que determina el clima, el desarrollo de las formaciones vegetales y de las comunidades animales, la extensión de los glaciares y de los casquetes polares, etc., modificando la faz de la Tierra y haciendo posible la vida sobre ella.

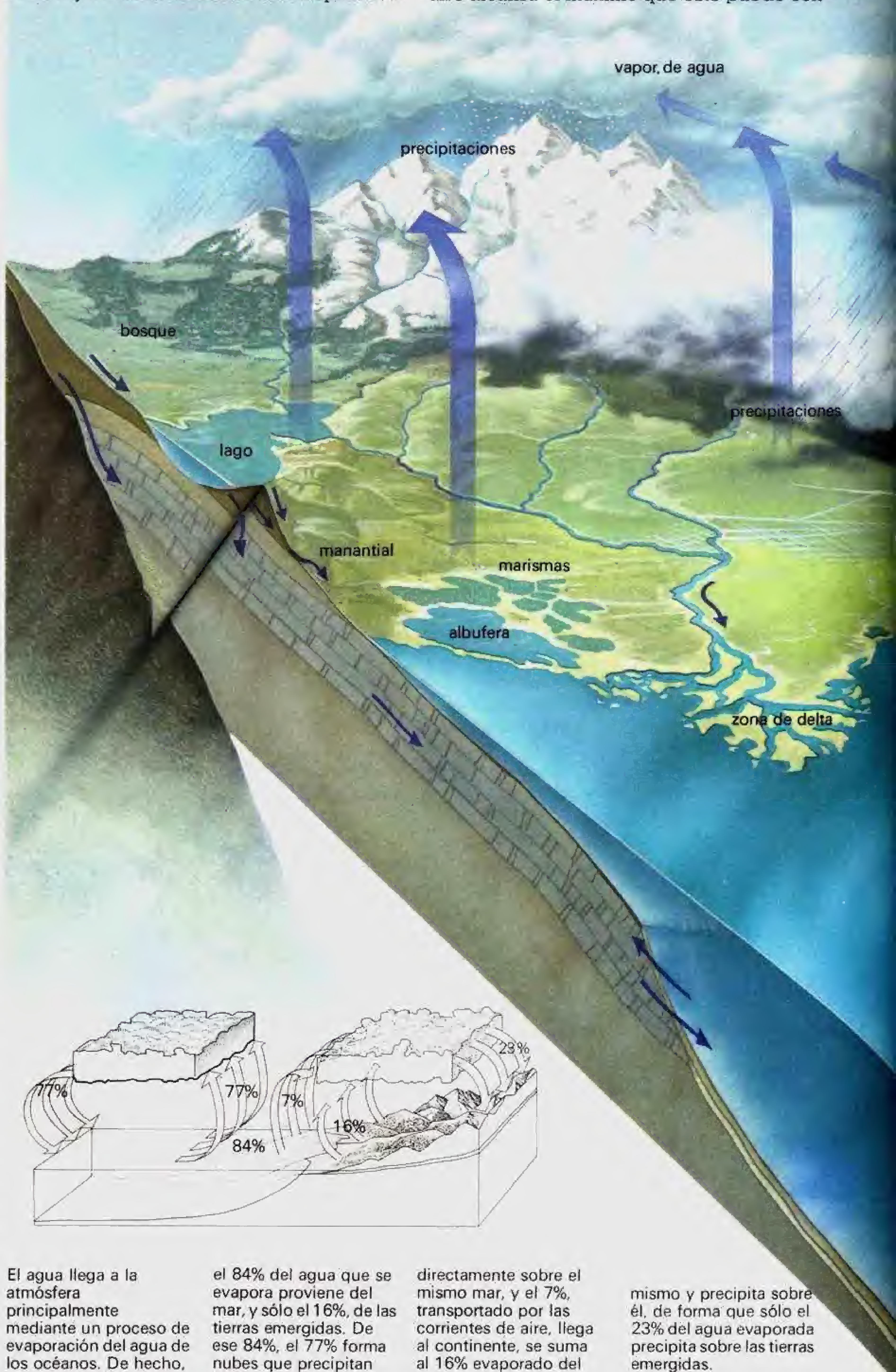
Por el momento es imposible determinar con exactitud el volumen de agua que alberga nuestro planeta, pero se calcula en unos 1.350 millones de km^3, de los cuales el 97% forma los océanos. Cada año se evaporan, es decir, pasan a la atmósfera en forma de vapor, alrededor de 525.000 km^3 de agua a partir de los mares y de las tierras emergidas, y, más o menos, la misma cantidad cae de nuevo en forma de *precipitaciones* (lluvia, nieve, granizo, niebla, escarcha o rocío). El movimiento de esta masa de 525.000 km^3 de agua constituye la mayor parte del ciclo del agua.

Se necesitan, por término medio, nueve días para que una molécula de agua complete su proceso de evaporación del océano, caiga bajo forma de precipitación sobre la tierra y vuelva al mar. La duración del "viaje" de una molécula depende, en cualquier caso, de qué camino siga entre las variadas opciones del ciclo del agua.

El agua pasa de los mares o de las tierras a la atmósfera, es decir, de líquido a vapor, mediante diversos sistemas, la mayor parte de los cuales se agrupan bajo la denominación general de *evapotranspiración*. Esta palabra procede de la unión de los términos que indican los dos mecanismos principales por los que el agua pasa a la atmósfera: *evaporación* y *transpiración*. La *evaporación* es el proceso que tiene lugar cuando, por ejemplo, se colocan en el escurreplatos los platos y vasos recién lavados; después de cierto tiempo la vajilla se seca, más rápidamente cuanto más calor y mayor ventilación hay. La explicación física es que las moléculas de agua adheridas a la vajilla comienzan a agitarse con suficiente velocidad como para saltar del lugar en el que están y difundirse por el aire. A temperatura ambiente templada, todas las moléculas se agitan o vibran a baja velocidad. Para hacer vibrar las moléculas de agua a la velocidad necesaria para evaporarse de la vajilla húmeda se necesita el "empujón" de una fuente de energía. En la Naturaleza es el Sol la fuente que aporta esa energía. Los rayos solares inciden sobre las moléculas de agua que se encuentran en tierras y mares, haciéndolas evaporarse y pasar a la atmósfera.

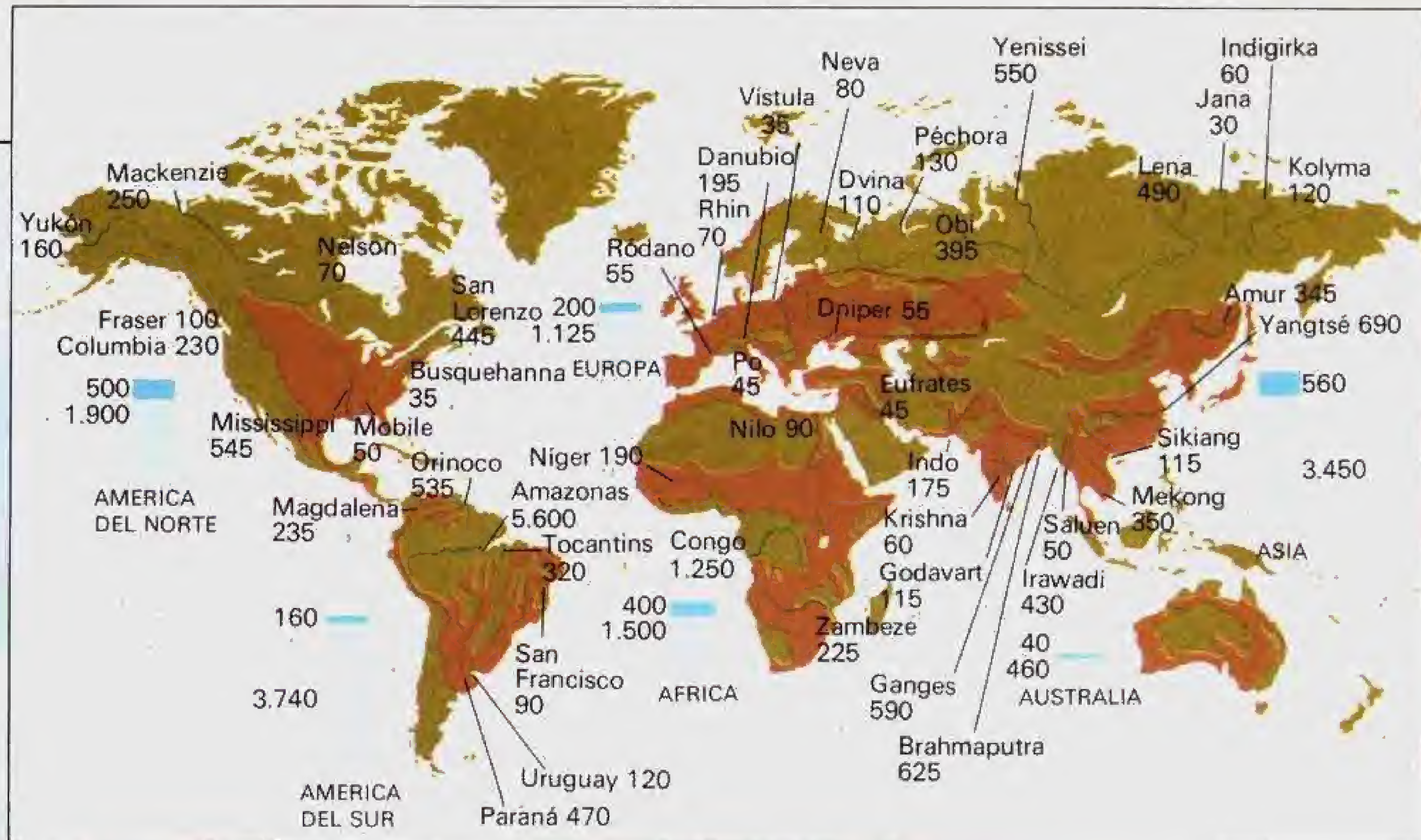
La *transpiración*, segunda fuente principal en la evaporación del agua (o agua atmosférica), es, bajo múltiples aspectos, un tipo particular de evaporación. Los vegetales, a través de los poros existentes en las hojas y órganos verdes de la planta, eliminan un porcentaje superior al 99% del agua que han absorbido del aire y del suelo. Qué cantidad de agua llega a la atmósfera por este mecanismo, y a qué ritmo, es algo difícil de establecer, ya que, dado el estado actual de los conocimientos, es muy difícil establecer la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo. La sequedad ambiental y el viento aceleran la transpiración.

La evapotranspiración está condicionada por factores climáticos, como la humedad, la temperatura y la velocidad del viento. La *humedad*, factor particularmente importante, es la medida de la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Para cada temperatura, el aire puede contener una determinada cantidad máxima de agua; tal cantidad disminuye a medida que la temperatura desciende. Así, cuando la cantidad de vapor de agua contenida en el aire alcanza el máximo que éste puede con-



El agua llega a la atmósfera principalmente mediante un proceso de evaporación del agua de los océanos. De hecho, el 84% del agua que se evapora proviene del mar, y sólo el 16%, de las tierras emergidas. De ese 84%, el 77% forma nubes que precipitan directamente sobre el mismo mar, y el 7%, transportado por las corrientes de aire, llega al continente, se suma al 16% evaporado del mismo y precipita sobre él, de forma que sólo el 23% del agua evaporada precipita sobre las tierras emergidas.

En el mapa se indican los ríos que tienen un caudal anual medio superior a los 30 km³. Los histogramas indican el caudal estable (en km³) de los ríos de cada continente. El caudal se regula mediante los almacenes naturales (azul claro), presas y embalses (azul oscuro). Los recursos hidrológicos de algunos ríos importantes apenas se aprovechan porque discurren por áreas inadecuadas para el asentamiento humano (ocre). Un ejemplo lo constituyen el río Amazonas y el río Congo, que atraviesan zonas climáticas —selváticas— difíciles. En las zonas densamente pobladas (granate) los ríos son intensamente aprovechados.

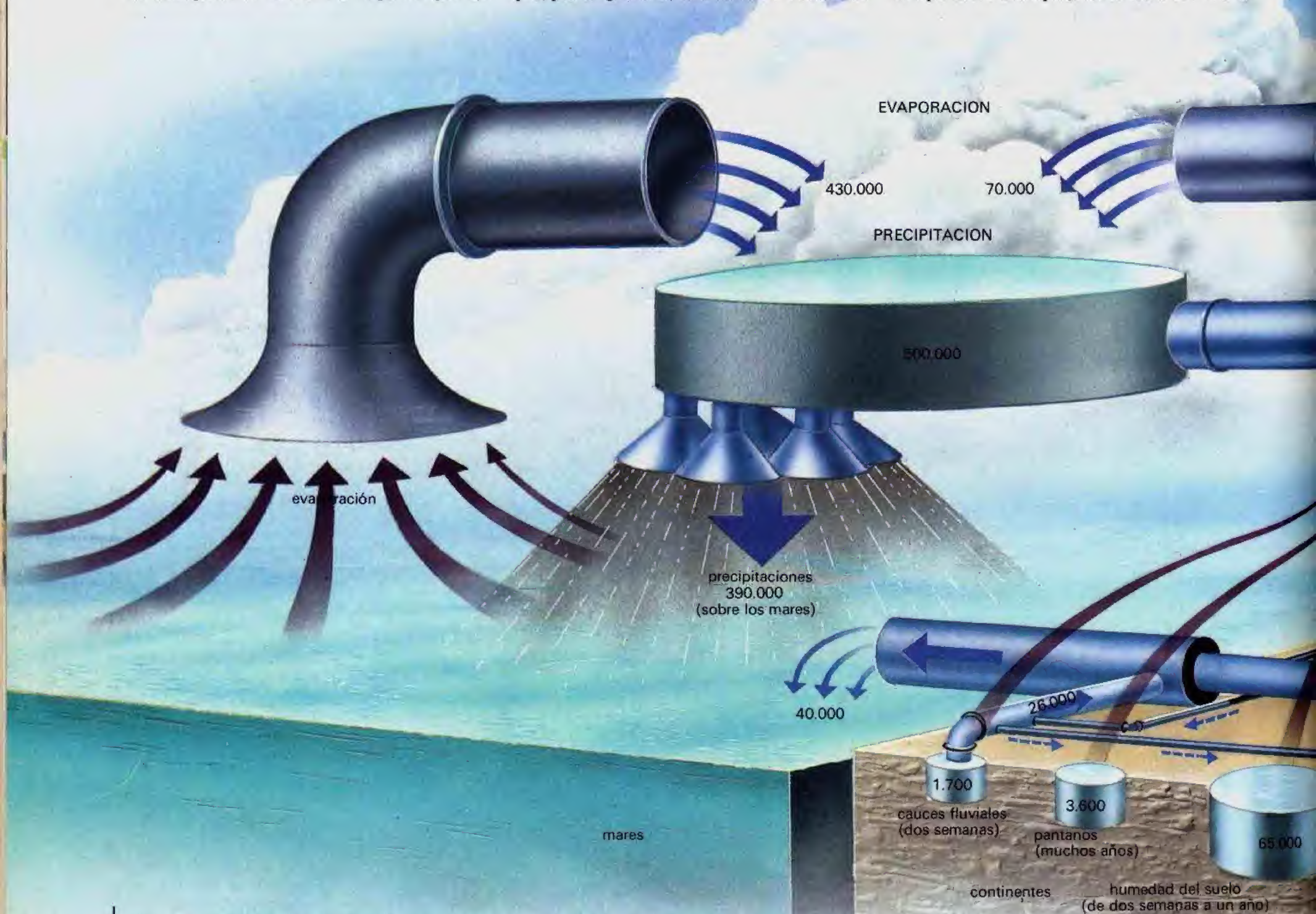


El ciclo hidrológico se nutre de varias fuentes que suministran agua en cantidades diferentes y cuya continuidad permite la vida sobre la Tierra y asegura la alimentación constante de los grandes almacenes naturales a los que acude el hombre para aprovisionarse de agua. En el esquema se aprecian la evaporación de los océanos, las corrientes que transportan parte de las nubes hacia la tierra, la evaporación de los lagos y de los diversos cursos de agua. Una parte del agua caída sobre el suelo y sobre las formaciones vegetales pasa directamente a la atmósfera por evaporación y posteriormente precipita en forma de nieve, lluvia, etc., según la altitud y el clima, sobre las tierras emergidas o sobre los océanos; otra parte se filtra hasta el subsuelo, contribuyendo a engrosar las aguas subterráneas (superficiales, intermedias y profundas) reapareciendo en manantiales y pozos, o siguiendo hacia el mar.

tener a una determinada temperatura, algunas moléculas de agua se licuan. Como una esponja empapada, la atmósfera comienza a gotear: este proceso se denomina *condensación*, y supone el paso del estado gaseoso al líquido. Un ejemplo cotidiano es el rocío, gotitas de agua que se depositan sobre la hierba durante las frescas noches otoñales, resultado de la condensación del vapor de agua atmosférico.

Una vez en el aire, normalmente el vapor es transportado desde las capas bajas de granizo, etc.) que dan continuidad al ciclo hidrológico. Una vez en la atmósfera, como ya hemos visto, el vapor de agua es transportado por el viento a miles de metros de altitud en el aire. A gran altura en la atmósfera, la temperatura es más baja que en superficie; ello provoca la acumulación de las moléculas de agua en millones de minúsculas gotas que no son lo suficientemente pesadas como para caer. Estas enormes masas de gotitas constituyen las *nubes*, que, por lo general, son bastante inestables recepción que a su vez desaguan en ríos, lagos y mares; pero alrededor del 4% penetra hasta el *nivel freático*, estrato impermeable —bajo la superficie terrestre— que almacena agua. Este *agua subterránea* circula lentamente como un río y alcanza el mar filtrándose poco a poco.

Una parte importante de las aguas que caen sobre el suelo continental sigue un ciclo distinto. En las regiones templadas y cálidas, el suelo retiene poca agua, ya que una parte es incorporada al ciclo de reeva-



aire, en contacto directo con la superficie terrestre, a capas más altas mediante corrientes de aire ascensionales. Aunque la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera es pequeña —en cada instante, menos de la cienmilésima parte de todo el agua del Globo—, es de importancia extrema, ya que absorbe el calor irradiado por la superficie terrestre, contribuyendo a evitar que este último escape de la atmósfera hacia el espacio exterior. De este modo, la temperatura se mantiene dentro de los niveles necesarios para que la vida se desarrolle en la Tierra.

La *condensación* del vapor de agua da lugar a las precipitaciones (lluvia, nieve, y fácilmente se transforman en lluvia. En todo caso, cuando el vapor de agua llega a la superficie terrestre, ya sea condensándose sobre ella, ya sea en forma de lluvia, lo hace principalmente sobre los océanos. Se estima que la cantidad de agua que precipita sobre los océanos es el cuádruple de la que precipita sobre islas y continentes. Gran parte de esta última cae sobre la vegetación. De la lluvia caída sobre las plantas, una parte cae después al suelo, otra permanece sobre ellas y posteriormente se evapora, volviendo de nuevo a la atmósfera.

La mayor parte del agua caída sobre las tierras emergidas confluye en cuencas de poración que se activa por los vegetales, parte desciende al nivel freático y vuelve a la superficie a través de los manantiales, y parte, simplemente, discurre por el suelo —aguas de escorrentía— cuando las precipitaciones son muy intensas.

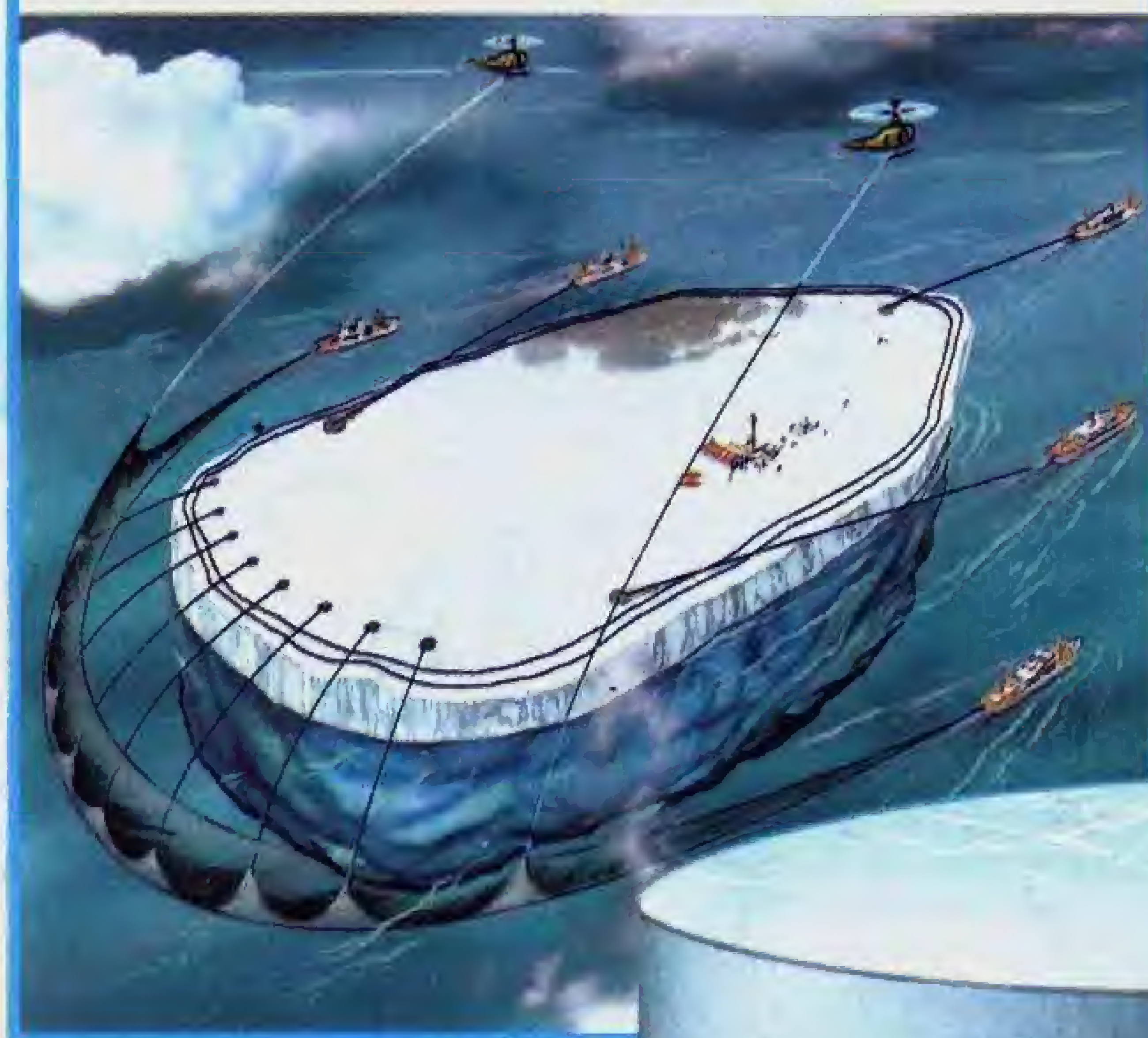
En los climas fríos, el agua, generalmente, llega al suelo en forma de nieve, donde se acumula y se hiela. En los climas polares la acumulación de hielo es impresionante y puede formar capas de gran espesor, como ocurre, por ejemplo, en la Antártida, cuya capa de hielo alcanza los tres mil metros de espesor.

Véase **Agua; Aguas subterráneas**

En el gráfico inferior se representan los recursos hídricos del mundo y su utilización por el hombre. A la izquierda, el *ciclo hidrológico*, representado por grandes tubos que reciben el agua transpirada y evaporada y que ceden la misma bajo forma de precipitaciones; abajo, el agua almacenada por los océanos (a la izquierda) y por los continentes (a la derecha). El volumen de agua está dado en km³. En el gráfico también se indica el período de tiempo que el agua puede permanecer en un almacén de recepción concreto. 430.000 km³ de agua se evaporan al año de los océanos, y 70.000 km³ de los continentes, cayendo posteriormente bajo forma de precipitaciones, cuya distribución es la siguiente: 390.000 km³ caen en el mar y 110.000 sobre las tierras emergidas. Anualmente tiene lugar un trasvase de los océanos a los continentes, de 40.000 km³ de agua dulce, que el hombre utiliza en parte para el consumo y usos domésticos y en parte para usos industriales y agrícolas, compensado por el trasvase y almacenamiento en los océanos de las aguas de reflujo continental. La demanda total de agua, que actualmente se encuentra en torno a los 5.000 km³ de los 14.000 km³ teóricamente posibles pero no explotados, alcanzará en el año 2000 alrededor de 7.000 km³. El volumen de agua que, gracias al avance de las técnicas, la Humanidad podrá extraer a finales del presente siglo estará en torno a los 9.000 km³. Por tanto, se puede deducir fácilmente lo importante que es administrar bien este patrimonio común si no se quiere alterar irreversiblemente el equilibrio ecológico, ya muy deteriorado por los vertidos contaminantes y por las alteraciones climáticas.

AGUA DULCE DE LOS HIELOS POLARES

El *iceberg* es remolcado por helicópteros y buques desde su emplazamiento original hacia zonas más cálidas y áridas. La necesidad de transformar en tierras cultivables las regiones del Planeta donde las precipitaciones son escasas o nulas puede llegar a ser una necesidad perentoria. En contraposición a las ventajas de esta operación, se plantean enormes problemas que los estudiosos todavía no saben cómo solucionar: cambios climáticos que pueden alterar el equilibrio térmico de la Tierra, trastornos orográficos y atmosféricos graves. Además, el gran depósito de agua dulce, que constituyen los hielos, recurso no renovable a corto plazo, correría el riesgo de agotarse muy pronto, arrastrando a la Tierra a una situación de desastre biológico.



evaporación

precipitaciones
110.000
(sobre los continentes)

hielos
30.000.000
(de decenas a miles de años)

2.100

ciclo del agua
para uso humano:
agricultura, industria,
usos domésticos

11.000

125.000

cuencas de recepción y lagos
(de uno a muchos años)

aguas freáticas
superficiales e intermedias
7.000.000
(de días a miles de años)

aguas freáticas profundas
53.000.000
(decenas de miles de años)

Agua, depuración

Una de las servidumbres del progreso es la eliminación de los residuos procedentes de los distintos elementos que el hombre utiliza para aumentar su bienestar. Uno de estos elementos, desde luego básico, es el agua, que, una vez usada, se ha venido eliminando, hasta hace relativamente poco tiempo, vertiéndola bien en el suelo o bien en el curso o masa de agua más próximos.

Recibe el nombre de *autodepuración* el conjunto de fenomenos físicos, químicos y biológicos que de un modo natural, o sea, sin la intervención del hombre, tienen lugar en una masa de agua hasta conseguir la destrucción de todas las materias extrañas incorporadas a la misma a través de los distintos vertidos. Pues bien, en el caso de vertidos a ríos, se confiaba al poder de autodepuración de estos la eliminación de los riesgos tanto epidemiales como ecológicos que los vertidos incontrolados pudieran provocar. Es evidente que el aumento de población de los núcleos urbanos, el reducido caudal del cauce receptor o una combinación de ambas causas terminaron poniendo de relieve la insuficiencia de los medios que la naturaleza puede aportar en la lucha contra la contaminación. Por su parte, los vertidos directamente al suelo pueden provocar, como más adelante veremos, la contaminación de mantos de agua probablemente destinados a usos potables. Finalmente, en el caso de vertidos al mar, hoy día son sobradamente conocidos los daños que estos pueden producir tanto a la vida acuática como a las playas.

El gran desarrollo industrial alcanzado durante el presente siglo, unido a la formación de grandes núcleos de población, ha agravado los problemas anteriormente indicados, haciéndose necesaria la creación de una tecnología que permitiese el tratamiento previo de todos aquellos vertidos tanto industriales como urbanos que pudiesen ocasionar daños al entorno.

Los problemas de contaminación, así como el coste y la escasez del agua, son los motivos de que se empiece a hablar del llamado *vertido-cero*, tendencia consistente en el reciclado total del agua utilizada con fines industriales, lo que, efectivamente, evitaría cualquier riesgo de contaminación, si bien sería preciso para ello la consiguiente adaptación de los diferentes procesos industriales.

Tipos de contaminación Tanto las aguas superficiales (ríos, lagos y mares) como las aguas subterráneas son portadoras de numerosas sustancias, bien disueltas o bien en suspensión. Estas sustancias son las causantes de la contaminación. En la *Carta del Agua*, promulgada por el Consejo de Europa en 1968, se define la *contaminación* como "la modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural".



En la *Carta del Agua*, promulgada por el Consejo de Europa en 1968, se define la *contaminación* como "la modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural".

Se pueden distinguir dos tipos de contaminación. El primero de ellos, que podemos llamar *contaminación natural*, es el resultante del ciclo del agua, sin intervención, por tanto, de la actividad humana. Así, por ejemplo, las gotas de lluvia arrastran en su caída numerosas partículas presentes en el aire; en su discurrir, tanto por la superficie de la tierra (aguas de escorrentía) como por su interior una vez filtradas, estas aguas van disolviendo todos aquellos elementos solubles que encuentran en su recorrido, como carbonatos, sulfatos y cloruros. El segundo tipo de contaminación, que es el más importante, es el originado por la actividad del hombre al utilizar el agua como vehículo de transporte de la mayor parte de sus desechos.

Características de las aguas residuales Distinguiremos entre características físicas, químicas y biológicas.

- *Características físicas*. La más importante es el contenido total de sólidos, que está compuesto por materia flotante, en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. La diferencia entre las tres últimas es una cuestión de tamaño, siendo el de las partículas disueltas menor de la millonésima parte de un milímetro, el de las partículas en suspensión, mayor de la milésima parte de un milímetro, y de un tamaño intermedio entre esos dos valores el correspondiente a las partículas coloidales. Otras características físicas son el color, el olor y el sabor.
- *Características químicas*. Las principales son el contenido de materia orgánica (proteínas, hidratos de carbono, grasas animales, aceites, fenoles, productos químicos agrícolas, etc.), materia inorgánica (cloruros, hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos, fosfatos, sulfatos, metales pesados, etc.) y gases (nitrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, metano, etcétera.).
- *Características biológicas*. Las básicas son, por un lado, la existencia de bacterias patógenas y virus capaces de transmitir enfermedades y, por otro, la ausencia de vida acuática debido a la escasez o carencia de oxígeno disuelto en la masa de agua. Esta ausencia de oxígeno se produce por la utilización del mismo durante la descomposición de la materia orgánica, desapareciendo la vida si la concentración de este elemento es inferior a 4 mg/litro.

Eutrofización y desoxigenación Las aguas naturales no contaminadas se caracterizan, como cualquier otro medio, por la existencia de un equilibrio biológico entre

la fauna y la flora. Si en estas aguas se introduce una alteración importante, este equilibrio se rompe, sucumbiendo alguna o todas las especies, pudiéndose, por el contrario, desarrollar excesivamente otras.

La *eutrofización* es un fenómeno que se produce en las aguas superficiales cuando se les añade una cantidad excesiva de nutrientes (sustancias nutritivas) respecto a las que normalmente tienen. Estos nutrientes son, fundamentalmente, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El origen de los mismos puede ser el agua residual propiamente dicha, el vertido de depuradoras de agua residual —muy rico, en general, en algunos de esos nutrientes— o la propia vegetación. El establecimiento de unas condiciones excesivamente favorables para el desarrollo de la flora acuática conduce, en primer lugar, al aumento de las algas microscópicas que, por la acción fotosintética, contribuyen a un aporte importante de oxígeno al agua. Si estas condiciones favorables continúan, el crecimiento de las algas aumenta, el agua adquiere color verde, la luz penetra con dificultad, baja la capacidad fotosintética y, consiguientemente, disminuye la producción de oxígeno. En una última etapa, las algas llegan a formar una capa compacta en la superficie del agua, impidiendo totalmente la producción de oxígeno.

La muerte, digamos que por causas naturales, de los distintos seres acuáticos, entre ellos las algas, es la causa de la formación de un depósito orgánico en el fondo que, al descomponerse, absorbe el oxígeno disuelto en el agua al mismo tiempo que produce sulfuro de hidrógeno. Esta desoxigenación puede ir ascendiendo por la masa de agua hasta llegar a la superficie, acabando, como ya hemos dicho, con toda la vida acuática, al mismo tiempo que la existencia del sulfuro de hidrógeno produce los consiguientes malos olores.

Medida de la contaminación de un agua residual urbana Los tres conceptos básicos que hay que tener en cuenta para determinar el grado de contaminación de un agua residual urbana son: la dotación, la concentración de materias en suspensión y la demanda bioquímica de oxígeno.

La *dotación* es el volumen medio de agua suministrada a un habitante en un día. En España puede calcularse entre 150 y 300 litros. En Estados Unidos, sin embargo, es del orden de 550 litros, estimándose que un 40% de esta cantidad es para uso doméstico y el 18%, 24% y 17%, respectivamente, para usos comerciales, industriales y públicos. No obstante, como es lógico, estos datos, por ser valores medios, varían de unas zonas a otras, por lo que sólo tienen carácter meramente estadístico e indicativo.

La *demanda bioquímica de oxígeno* (DBO) de un agua residual está estrictamente relacionada con su contenido de materia orgánica.

Los valores normales, para aguas residuales urbanas, en mg/litro, tanto de ese parámetro como de la *concentración* de materias en suspensión, son los siguientes:

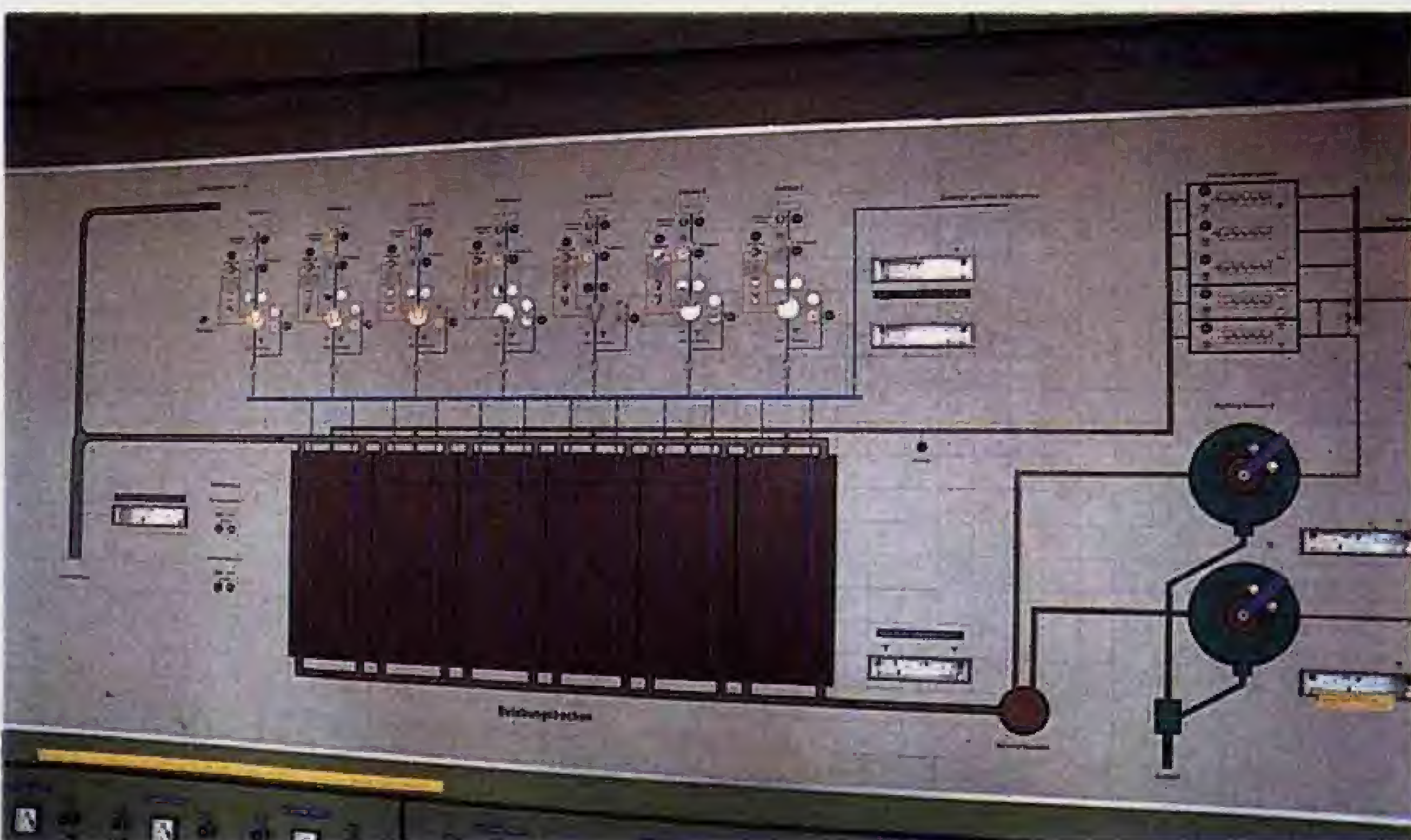
	CONCENTRACION		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos en suspensión	350	220	100
DBO_5	400	220	110

Tratamientos convencionales de aguas residuales La eliminación de los distintos contaminantes presentes en un agua residual puede hacerse por uno de estos tres procedimientos: dilución, inyección al terreno y concentración.

Por medio de la *dilución* se pretende que la concentración final del producto contaminante sea tan baja que no produzca daños. Un ejemplo típico de un tratamiento por dilución es el empleo de "emisarios submarinos", tuberías que transportan el agua residual hasta un punto lo suficientemente alejado dentro del mar que garantice la dilución del vertido.

Salvo en casos muy concretos, como el de ciertos materiales radiactivos de vida corta, no se consigue por medio de la *inyección al terreno* una eliminación de las sustancias contaminantes, sino más bien una acumulación de las mismas en el subsuelo, con el consiguiente riesgo de contaminación a posibles mantos de agua existentes, susceptibles de ser aprovechados para usos potables, algunas veces a mucha distancia del punto de inyección. Solamente tras un estudio geológico muy completo, y adoptando las necesarias medidas de seguridad, puede resultar aconsejable un tratamiento de este tipo, pudiendo asegurar que estas garantías son muy difíciles de conseguir. En cuanto a los tratamientos por *concentración*, que son los tratamientos propiamente dichos, pretenden conseguir por medios físicos, químicos y biológicos la concentración de las distintas sustancias transportadas por el agua, para hacer así más fácil la eliminación de las mismas.

El tratamiento de las aguas residuales consiste en la aplicación de una serie de procesos unitarios cuya utilización y secuencia dependen de las características del agua residual que se trata, así como del rendimiento de depuración que se decide obtener. Cada combinación de estos procesos unitarios define un sistema determinado de tratamiento. Dentro de las líneas de tratamiento *convencional*, un ejemplo de tratamiento muy representativo para una planta de depuración de aguas residuales de tamaño importante (más de 200.000 habitantes) se esquematiza en una de las figuras de la página siguiente por medio de un diagrama de flujo, en el que se señalan las actividades más importantes así como la conexión entre ellas. La zona coloreada en azul recibe el nombre de *línea de agua*; comienza con la llegada de agua bruta a la depuradora y va marcando su recorrido a lo largo del tratamiento hasta el vertido final. Está formada por el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento biológico o secundario y la desinfección. En marrón se representa la *línea de lodos* (no hay que olvidar que el objetivo del tratamiento es agrupar los diferentes contaminantes presentes en el agua en forma, a partir del pretratamiento, de fangos). Entre sus procesos están el espesamiento de fangos primarios, de fangos secundarios o en exceso, la "digestión" y el secado de lodos.


J. Jiménez

Una instalación de depuración de mediana importancia requiere, para su correcta explotación, un control riguroso de las fases básicas del proceso, con el fin de garantizar no solamente unos rendimientos adecuados sino también una máxima seguridad, dotándose a la instalación de las medidas precisas. La existencia, frecuentemente, de gas metano y de cloro justifica la adopción de dichas medidas. A veces, desde la sala de control, utilizando los modernos medios que la informática pone a nuestro alcance, pueden automatizarse algunas operaciones, al mismo tiempo que se puede almacenar fácilmente toda la información que se considere precisa sobre los distintos procesos que se están desarrollando. No obstante lo indicado, el estado actual de la técnica no aconseja llegar todavía a un total automatismo de las instalaciones.

Las actividades en amarillo configuran la *línea de gas* (metano) que, como ya veremos, se produce siempre en un sistema de tratamiento dotado de digestión anaerobia.

En rojo se esquematiza la *línea de energía*; y, finalmente, se representan en gris los subproductos que una estación depuradora genera en este tratamiento: basuras, arenas, grasas, lodos y gas metano. Queda así enmarcada la función fabril de una estación depuradora de aguas residuales, que, de una materia prima, *agua bruta*, produce, con consumo de energía, un producto final: *agua tratada* y unos residuos que son los subproductos anteriormente indicados.

Describiremos a continuación, con algún detalle, este tratamiento.

Línea de agua

1. *Pretratamiento*. Dada la gran heterogeneidad de las materias transportadas por los colectores urbanos, son necesarias unas instalaciones previas al tratamiento propiamente dicho y que reciben el nombre genérico de "pretratamiento".

Puede afirmarse, con carácter general, que cuanto más se tarde en eliminar, dentro del proceso de depuración, un determinado componente del agua residual, mayor será el coste económico de dicha eliminación. Por ello, no deben escatimarse los medios en esta parte de la depuración, ya que permite concentrar en una zona reducida los residuos más groseros, como trapos, hojas, arena, plásticos, restos de embalajes, grasas, etc., así como evitar los deterioros que estos elementos pudieran causar a otras partes de la instalación, como conducciones y bombas. Con estos fines, el pretratamiento desarrolla tres operaciones básicas: desbaste, desarenado y desengrase.

El *desbaste* consiste en hacer atravesar el caudal de agua residual a través de una reja cuya separación entre barrotes puede oscilar entre unos pocos milímetros y cien milímetros. Normalmente esta instalación es doble, colocándose primeramente una reja con mucha separación entre barrotes y, a continuación, otra con una separación inferior. La limpieza de estas rejas puede ser manual o automática, dependiendo de la importancia de la instalación.

El *desarenado* tiene por misión separar la arena existente en el agua residual. La arena, incluso la de menor tamaño, desgasta las conducciones y las bombas debido a su carácter abrasivo, al tiempo que dificulta el manejo de los lodos así como la digestión de los mismos.

Si la velocidad de circulación del agua residual es muy alta, las arenas son arrastradas por la corriente. Consecuentemente, la separación se basa en disminuir la velocidad de paso del agua residual hasta un valor de aproximadamente 0,3 m/s, lo que permite la sedimentación de las arenas de diámetro superior a 0,2 mm, y, como las arenas, al sedimentarse, suelen arrastrar una cierta cantidad de materia orgánica, se producen olores desagradables como consecuencia de la descomposición. Por ello es frecuente encontrar en las estaciones depuradoras instalaciones de lavado de arenas con el fin de facilitar su evacuación. A veces, por el mismo motivo, se instalan dispositivos que añaden aire al agua residual en los desarenadores (*aeración*), lo que contribuye a la eliminación de olores tanto en las arenas como en la propia agua residual.

El *desengrasado* consiste en la eliminación de los cuerpos flotantes más importantes, como grasas, fibras y pelos, constituyendo, además, una barrera de seguridad importante y eficaz frente a vertidos accidentales de hidrocarburos. El proceso de eliminación es el mismo que el de las arenas, ya que al reducir la velocidad del agua, al mismo tiempo que se depositan en el fondo los materiales que son más densos que el agua, por ejemplo las arenas, emergen a la superficie los menos densos, por ejemplo las grasas. Por este motivo, el desengrasado se suele efectuar, muy a menudo, en combinación con el desarenado, haciendo en este caso que la aeración sólo se produzca en una zona del aparato, la que actúa de desarenador, y no aireando la zona en que se produce el desengrasado.

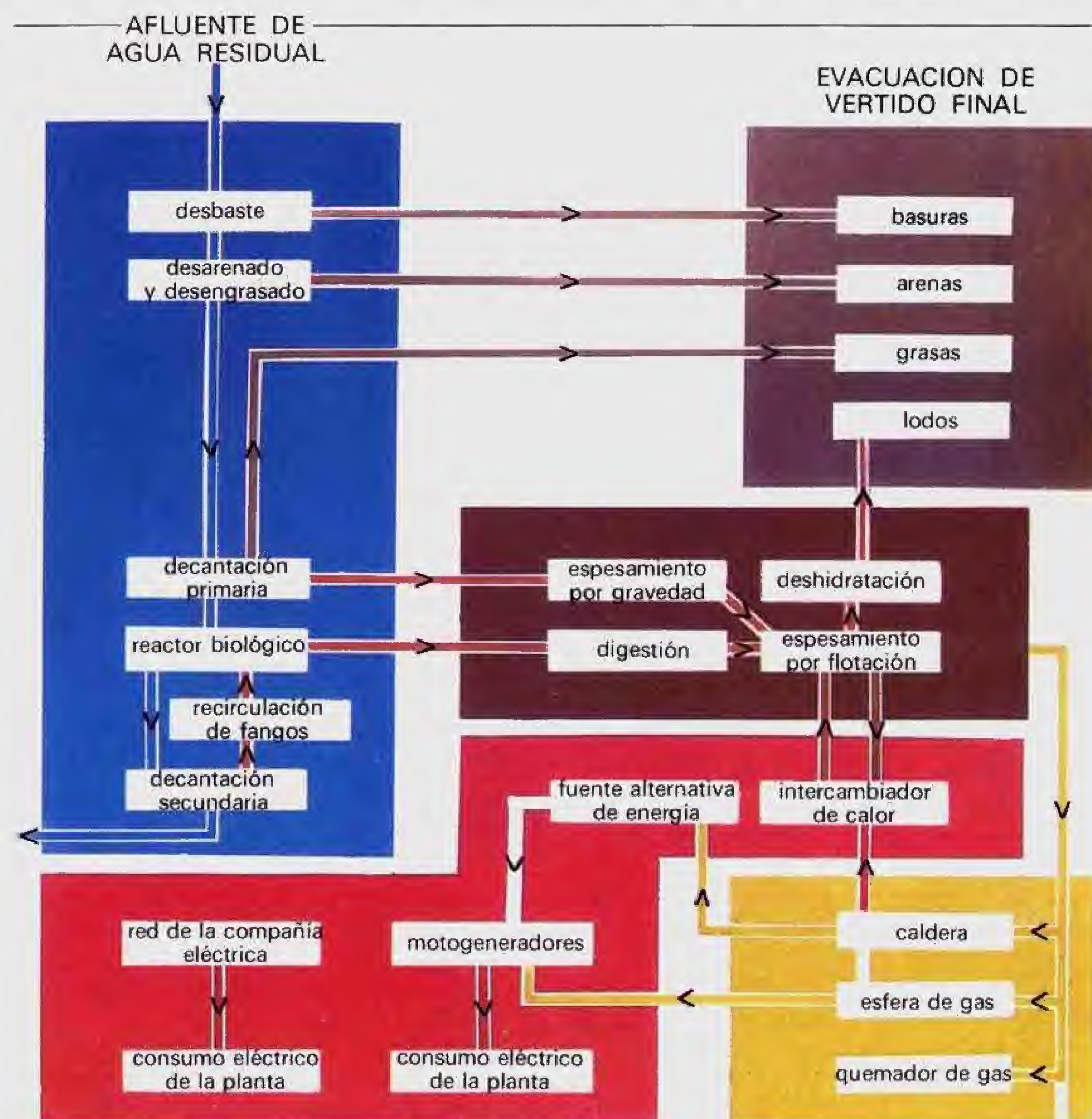
2. *Tratamiento primario*. Los decantadores primarios son grandes depósitos circulares o rectangulares en los que, mediante una nueva disminución de la velocidad de circulación del agua residual, se consigue a nivel más fino los mismos efectos anteriormente descritos en los desarenadores-desengrasadores: eliminación de los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante, reduciendo, por tanto, el contenido de sólidos en suspensión.

En una decantación primaria bien proyectada deberá eliminarse del 50% al 65% de los sólidos en suspensión y del 25% al 40% de la DBO_5.

El tiempo de permanencia del agua residual en estos depósitos es del orden de dos horas o dos horas y media, no consiguiéndose ningún aumento en los rendimientos al aumentar este tiempo, aunque sí un aumento del coste ante la necesidad de tener que hacer depósitos mayores si se quiere tratar una determinada cantidad por unidad de tiempo.

La ventaja fundamental de la decantación primaria es su bajo coste de explotación en la eliminación de materia orgánica con la consiguiente disminución de la DBO_5, lo que hace injustificable su ausencia en instalaciones medianas y grandes. A esta ventaja se unen las derivadas de un desengrasado suplementario y una explotación muy sencilla, sobre todo si precede a un espesamiento posterior.

3. *Tratamiento secundario o biológico*. Como anteriormente se ha dicho, aumentando el tamaño de los decantadores primarios por encima de un cierto valor que corresponde a los tiempos de retención indicados, no se obtiene ninguna mejora en el rendimiento, es decir, no sedimenta más



cantidad de materia en suspensión. Pues bien, los procesos secundarios o biológicos se utilizan para conseguir que una gran parte de la materia orgánica en suspensión que todavía se encuentra en el agua residual se agrupe formando flóculos que sí sean capaces de sedimentar.

Existen dos tipos básicos de procesos unitarios biológicos: fangos activos y filtros percoladores. Los *fangos activos* se utilizaron por primera vez en Inglaterra en 1914. El fundamento del sistema consiste en introducir el agua residual en un depósito de grandes dimensiones que se encuentra fuertemente aireado, es decir, al que se le está suministrando aire por medios artificiales. En estas condiciones, las bacterias que transporta el agua residual encuentran, gracias al oxígeno incorporado, un medio muy favorable para su desarrollo, que se realiza a base de utilizar como "alimento" parte de la materia orgánica presente en el agua (esta materia recibe por ello el nombre de *biodegradable*, y no es otra que parte de la materia orgánica suspendida que no se ha podido hacer sedimentar en el tratamiento primario). Al crecer, estas colonias bacterianas forman flóculos que se hacen pasar, en una segunda fase del proceso, a la *decantación secundaria*, formada por unos decantadores enteramente análogos a los primarios aunque de mayor tamaño, donde sedimentan fácilmente. El fango se recoge del fondo, bien por mecanismos de succión o por acumulación en un pozo central, y, con el fin de aprovechar al máximo el óptimo estado vital —y por tanto de posterior desarrollo— de las bacterias contenidas en este fango, se vuelve a inyectar una parte de él (fango recirculado) al reactor biológico, eliminando el resto, que constituye los llamados fangos en exceso, biológicos o secundarios.

El sistema de *filtros percoladores* se empleó por primera vez también en Inglaterra, en 1893. El reactor biológico consiste en este caso en un depósito circular o rectangular relleno de piedras o piezas de material plástico de tamaño entre 2,5 cm y 10 cm de diámetro, dotando así al conjunto de una gran permeabilidad. El agua residual se rocía por la parte superior y la materia orgánica va quedando prendida en la masa bacteriana adherida, a su vez, al relleno del filtro. Al ir creciendo estas masas bacterianas terminan desprendiéndose, sedimentando en decantadores secundarios dispuestos para tal fin.

Los tiempos de retención en los reactores biológicos de fangos activos o tanques de aeración oscilan entre 4 y 6 horas, siendo del orden de 3 horas el correspondiente a la decantación secundaria.

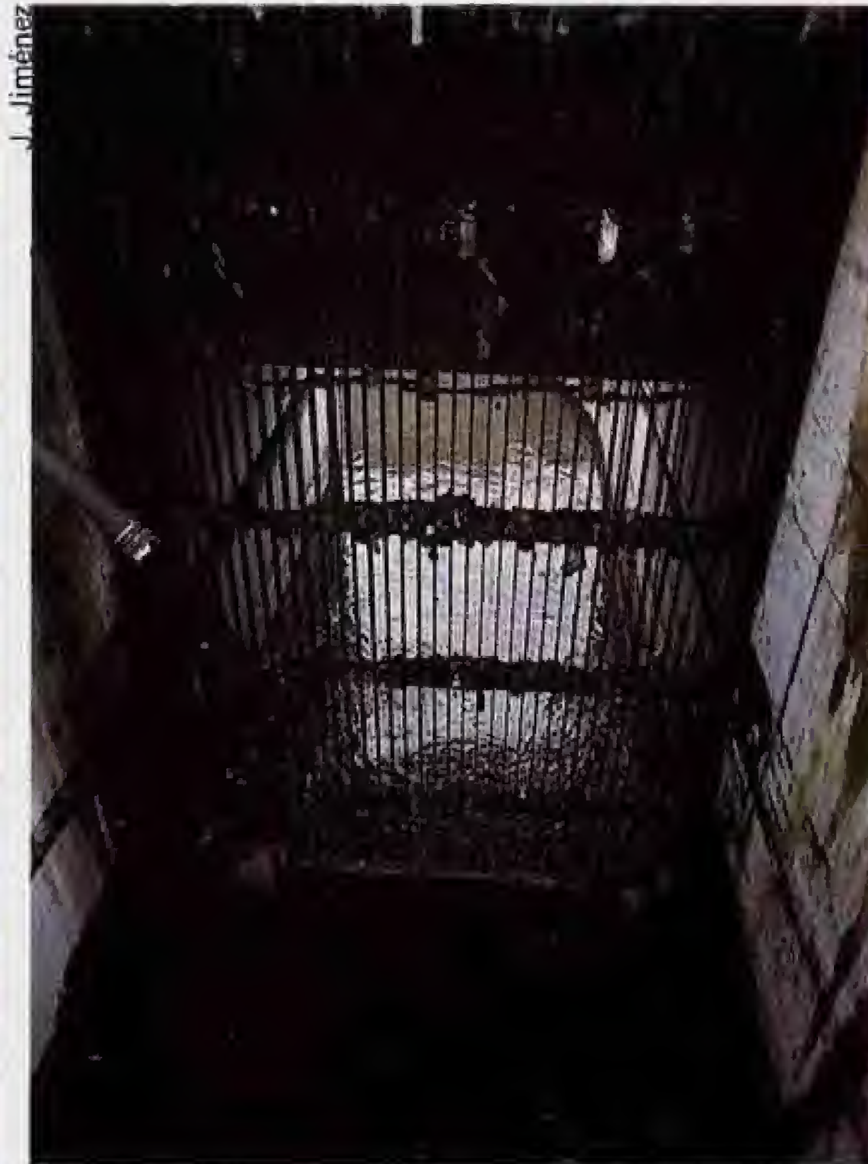
Línea de fangos

1. *Espesamiento de fangos*. En la exposición que hemos realizado de la línea de agua se puede observar que existen dos puntos a lo largo de la misma donde se concentra, en forma de fangos, parte de la materia que contamina el agua. Estos puntos son los decantadores primarios y los decantadores secundarios. El fango que se produce en los primeros recibe el nombre de *fango primario*, y el que se extrae (o purga) de los segundos, *fango secundario*, biológico o en exceso. Como vemos, se va logrando uno de los fines del tratamiento: *concentrar* los diferentes contaminantes presentes en el agua residual en forma de fangos.

La denominación de fango para este concentrado puede hacer pensar al profano en un material muy concentrado en sólidos, tipo "barrillo", lo que es absolutamente falso, ya que su apariencia externa es totalmente líquida (su peso específico es 1,02 g/cm^3, y la del agua 1,00 g/cm^3). La concentración de estos fangos se suele medir en porcentajes de peso; así, un fango del 2% de materia seca tiene, por cada 100 kg, 2 kg de materia seca y 98 kg de agua. Pues bien, las concentraciones de los fangos primarios y secundarios son, respectiva y aproximadamente, del 4% y el 0,7%, lo que demuestra su carácter líquido. Dada la gran cantidad de agua presente todavía en el fango, es necesario seguir concentrando el mismo con el fin de disminuir los volúmenes manejados; téngase en cuenta que si un fango es concentrado del 1% al 4% de sólidos, su volumen quedará reducido a un 25% del volumen primitivo. Interesa muchísimo, pues, concentrar para que pueda seguir el tratamiento del mismo a través de



J. Jiménez



Vista de una instalación de tratamiento de agua residual dotada de: bombeo previo (1), baterías de rejas (2), desarenadores (3), decantación primaria (4), proceso de activación biológica de fangos activados con aeración por turbinas de agitación (5), decantación secundaria (6) y cámara de cloración (7). Asimismo, la línea de fangos dispone de aspersores (8) e instalaciones de deshidratación (9). El diseño hidráulico del canal de llegada a las rejas es muy importante, ya que debe permitir una velocidad de llegada a las mismas aproximadamente entre 0,60 y 1,20 m/s.

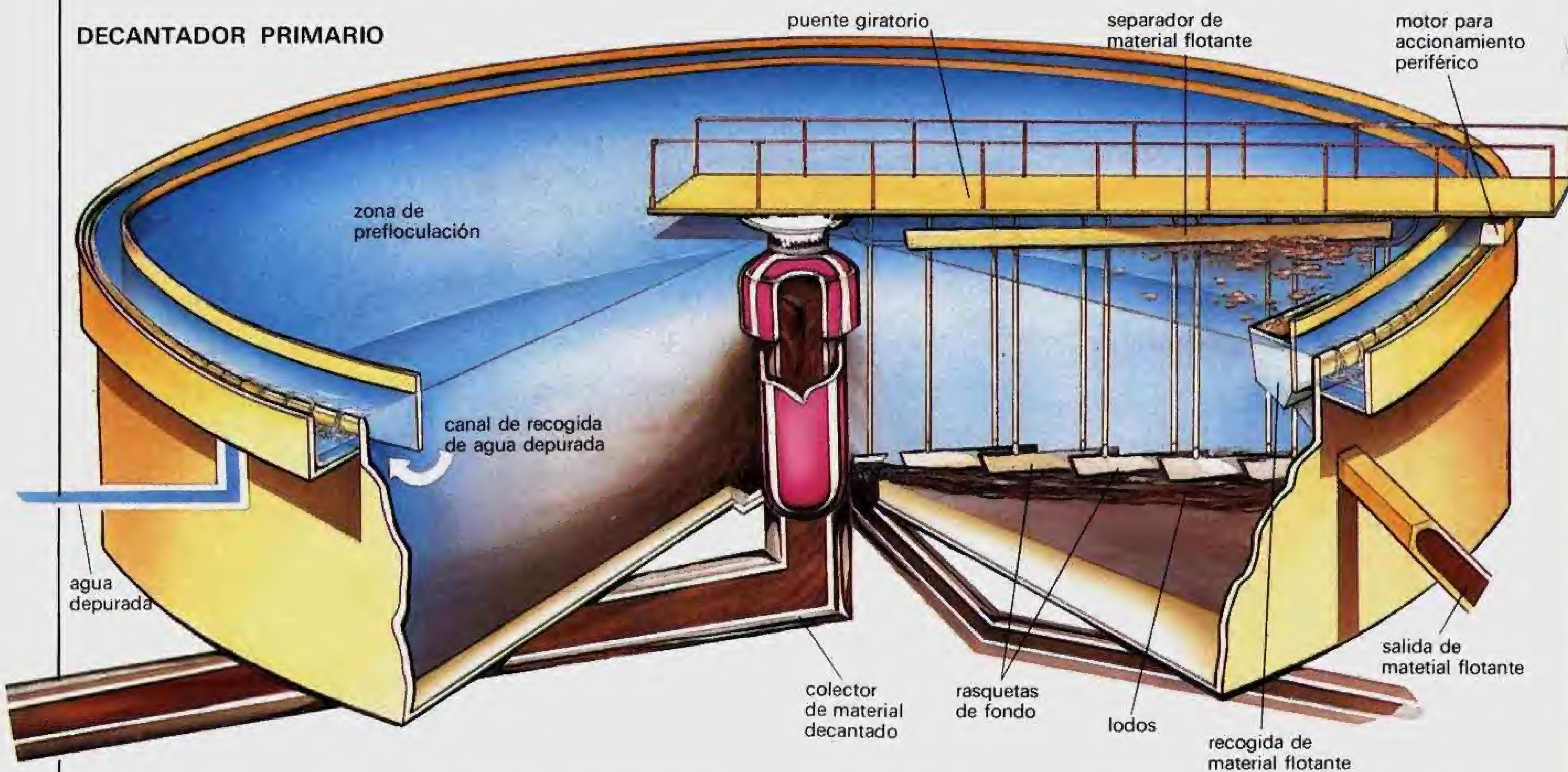
la línea de fangos con el menor volumen posible, al mismo tiempo que se envía el agua separada del mismo al comienzo de la línea de agua para que, a su vez, pueda ser depurada.

Ese es, pues, el objetivo del *espesamiento de fangos*, espesamiento que puede realizarse de muchos modos, siendo dos de los más empleados los que a continuación se describen.

El *espesamiento conjunto* se realiza almacenando, en primer lugar, todos los fangos (primarios y secundarios) en los decantadores primarios; para ello es preciso transportar los fangos secundarios a dichos decantadores. La extracción, conjunta ya, de fangos se lleva a un *espesador de gravedad* o *estático*, que no es ni más ni menos que otro decantador donde se consigue que el fango se vaya sedimentando, quedando la parte superior (sobrenadante) más clarificada. De este modo, y para aguas residuales urbanas, pueden alcanzarse concentraciones en este fango mixto del orden del 5%.

Los fangos primarios y secundarios son de naturaleza muy diversa; los secundarios, muy floculentos, porosos y fácilmente putrescibles (no hay que olvidar que son fangos activados), mientras que los fangos primarios son mucho más estables. Este es el fundamento del *espesamiento separado* de los fangos, tendencia que, hoy en día, se está imponiendo a la anterior en instalaciones de importancia, a pesar de su mayor coste. El sistema consiste, por un lado, en concentrar los fangos primarios en espesadores por gravedad, con lo que se pueden alcanzar concentraciones del 8%, y, por otro lado, en concentrar los fangos biológicos en espesadores adecuados a su estructura, que no son los de gravedad sino los de *flotación* o *centrifugación*. Los de flotación son los que se están usando con más profusión; en ellos, añadiendo y quitando presión al agua, se consigue la formación de finas burbujas de aire que, difundiéndose a través de la masa de fango, arrastran al mismo al ascender a la superficie. Se aprovecha así su carácter esponjoso, pues tienen tendencia a flotar, al mismo tiempo que la incorporación de aire reduce sensiblemente la formación de olores. Con este sistema, y para aguas residuales urbanas, pueden alcanzarse concentraciones del orden del 4%. Finalmente, ambos fangos, primarios y secundarios, ya concentrados, se llevan a una *cámara de mezcla* en la que pueden alcanzarse, en conjunto, concentraciones del orden del 6%.

2. *Digestión de fangos*. Como puede observarse, las únicas modificaciones experimentadas hasta este momento por la mate-



Los *decantadores primarios* circulares son más usuales que los rectangulares, en primer lugar, por razones económicas; en segundo, porque la recogida de fangos y de flotantes en un solo punto facilita estas operaciones. Los decantadores rectangulares presentan la ventaja de permitir un diseño más compacto, lo que reduce el espacio destinado para la decantación primaria.

Fotos: J. Jiménez







En el tratamiento biológico de *fangos activados* es preciso suministrar oxígeno en el reactor biiógico (balsas de aeración), operación que se suele realizar bien por *aireadores superficiales* (turbinas) que, por medio de un motor, hacen girar unas paletas (A) facilitando de este modo la incorporación de aire atmosférico al interior de la masa de agua, o bien por medio de *difusores de burbuja fina* (B), que consisten en unas piezas de cerámica porosa situadas en el fondo de la balsa, a través de las cuales se inyecta aire comprimido; el aire sale por los poros de estas piezas en forma de burbujas que ascienden a través de la masa de agua transfiriendo aire a la misma. Los *filtros percoladores* (C), llamados también lechos bacterianos, filtros bacterianos y filtros biológicos, construidos con material plástico, como el de la fotografía, se atascan mucho menos que los de relleno tradicional (piedra silícea, pórfido, puzolanas, etc.), aunque el precio de coste del relleno es también más elevado. Las mayores ventajas del empleo de filtros bacterianos sobre los fangos activos son, por un lado, su mejor comportamiento ante variaciones bruscas de la carga contaminante, una mayor facilidad de explotación y, finalmente, un importante ahorro de energía, ya que el oxígeno se suministra, normalmente, por tiro natural a través del filtro. Los *digestores de fangos* por vía anaerobia pueden ser cilíndricos con cubierta cónica (D) o esférica (E), o pueden adoptar formas diversas por motivos funcionales o estéticos. La adopción de formas especiales, unida a sistemas que garanticen un buen mezclado, puede reducir sensiblemente el tiempo de permanencia en ellos de los fangos y, consecuentemente, su volumen. Se ha llegado, con la aplicación de estas técnicas, a tiempos de permanencia de 15 días frente a los tradicionales 30 días. No obstante, lo delicado del proceso y la importancia de digerir correctamente los fangos aconsejan ser prudentes en el dimensionado.

ria orgánica han sido las necesarias para su transformación en formas decantables, por lo que las materias peligrosas para el hombre contenidas en el agua residual siguen estando presentes en los fangos obtenidos, y siguen revistiendo tanto peligro como antes de la concentración.

Llegado este momento, es preciso aplicar a los fangos el proceso de *digestión*, que consiste en la transformación de las sustancias contenidas en ellos en otras que no tengan consecuencias nocivas en los aspectos sanitario, biológico o estético. El objetivo fundamental de la digestión es, pues, la transformación de la materia putrescible en otras formas más estables, lo que se puede llevar a cabo por vía aerobia (mediante bacterias aerobias, que son las que necesitan oxígeno molecular) o bien por vía anaerobia (mediante bacterias anaerobias, que utilizan oxígeno combinado), dando así origen a los dos tipos básicos de digestión.

La *digestión aerobia* representa una continuación del tratamiento; el agua residual se airea y se vierte al medio receptor de vertidos; el fango obtenido se sigue aireando mediante aireadores superficiales hasta que se consume la materia orgánica. En realidad, el proceso es muy similar al de los fangos activos. Los microorganismos presentes en el fango comenzarán a consumir su propio protoplasma (adelgazar) para seguir viviendo. De este modo se procede a la estabilización del fango.

La *digestión anaerobia*, en cambio, supone una ruptura del proceso al pasar de la vía aerobia que se estaba siguiendo con el agua residual a la vía anaerobia para tratar el fango. La digestión anaerobia consiste en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, lo que se consigue en un recinto cerrado en ausencia de aire. Esta descomposición, o fermentación metánica, es un proceso lento (necesita cerca de 30 días) que requiere para su realización que se cumplan una serie de condiciones, como son, por ejemplo, la inexistencia de metales pesados y sulfuros, una temperatura del orden de 35 °C, un pH comprendido entre 6,6 y 7,6, existencia de nutrientes biológicos como nitrógeno y fósforo y un mezclado enérgetico. Cumplidas éstas, el proceso de la descomposición de la materia orgánica se realiza en dos fases. En la primera, una serie de bacterias llamadas *bacterias formadoras de ácidos* (facultativas y anaerobias) transforman los compuestos orgánicos en ácidos simples (acético, propiónico y butírico). En la segunda fase, las llamadas *bacterias formadoras de metano* convierten los ácidos formados en metano y dióxido de carbono, fundamentalmente. Es en esta segunda fase

cuando tiene lugar realmente la estabilización del fango, al transformarse los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono, gases muy insolubles que se separan del líquido mezcla. El gas obtenido en la digestión contiene del 65% al 70%, en volumen, de metano, del 25% al 30% de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno y otros gases.

Respecto a la elección entre uno y otro tipo de digestión, puede afirmarse que para grandes poblaciones debe instalarse necesariamente la digestión anaerobia, por la posible recuperación de la energía contenida en el metano y por la menor necesidad de espacio; en pequeñas instalaciones debe pensarse siempre en la digestión aerobia, siendo discutible el procedimiento a emplear en las instalaciones intermedias.

3. *Deshidratación de fangos.* El fango, una vez digerido, sigue teniendo un porcentaje elevado de agua. A título de ejemplo, podemos suponer las siguientes concentraciones de materia seca:

- Fango primario digerido anaeróbicamente: del 6% al 8%.
- Fango mixto digerido anaeróbicamente: del 3,5% al 6%.
- Fango mixto digerido aeróbicamente: del 1,5% al 3,5%.

Como anteriormente hemos indicado, interesa eliminar la mayor cantidad posible de esta agua, no sólo por reducir los gastos de transporte sino, y también, por facilitar el manejo de los productos finales, que resulta muy complicado cuando se encuentran en estado excesivamente líquido. Conviene, pues, deshidratar los fangos, para lo que es fundamental proceder, previamente, a su *acondicionamiento*, operación consistente en una preparación de dichos fangos, bien aplicándoles calor (*acondicionamiento térmico*) o bien añadiéndoles productos químicos (*acondicionamiento químico*), con el fin de poder facilitar su posterior deshidratación.

La deshidratación propiamente dicha puede hacerse de una manera natural (*eras de secado*) o mecánicamente (*filtros de vacío, centrífugas, filtros banda* y *filtros prensa*). La sequedad obtenida por procedimientos mecánicos oscila entre el 20% y el 50%.

No queremos terminar este apartado referido a la deshidratación sin hacer mención a la *incineración de fangos*. Esta puede realizarse total o parcialmente; en este último caso se pueden aprovechar las calorías contenidas en los gases procedentes de unos pocos fangos incinerados para deshidratar, hasta porcentajes muy elevados, el resto de los fangos. La rentabilidad de la incineración total estriba en aprovechar el poder calórico interno de los fangos (por supuesto, sin digerir) para conseguir su autocombustibilidad, es decir, su combustión sin necesidad de aportar energía externa. Este proceso requiere una sequedad alta en los fangos. Actualmente su uso es muy discutido.



J. Jiménez

Batería de motogeneradores. Con el aprovechamiento del gas de digestión como combustible de motores de gas, que, acoplados a generadores, producen energía eléctrica, se consigue un importante ahorro en la energía necesaria para el funcionamiento de la depuradora, que puede cifrarse, en un proceso de depuración convencional por fangos activos, en más del 60% de la misma. Otras veces lo que se hace es transferir a la red de energía exterior a la planta toda la energía eléctrica producida en ella y operar en la planta sólo con energía exterior, mediante los oportunos contratos con la empresa suministradora.

Línea de gas y de energía Como ya hemos indicado, en un proceso de digestión anaerobia se produce un gas que contiene, en una proporción importante, gas metano. Si se quema un metro cúbico de este gas de digestión, se producen 5.500 kilocalorías. El primer aprovechamiento posible de esta energía es su empleo en el calentamiento de fangos. Los cálculos demuestran que la energía acumulada en los fangos es muy superior a la que se precisa para calentar los fangos hasta los 35 °C necesarios para que se desarrolle correctamente la digestión anaerobia.

El procedimiento más empleado para el aprovechamiento de este excedente de energía es la utilización de motores de gas que lo transforman en energía mecánica o en energía eléctrica, al mismo tiempo que se recupera el calor cedido en los circuitos de refrigeración y lubricación.

No obstante, hay que indicar que el coste de los equipos necesarios para hacer este aprovechamiento es muy elevado, por lo que sólo se considera muy aconsejable para instalaciones de importancia (más de 200.000 habitantes servidos). En instalaciones pequeñas y medianas (hasta 60.000 ó 70.000 habitantes servidos) no parece rentable este sistema de aprovechamiento, siendo discutible su utilización para tamaños intermedios entre los indicados.

Tratamiento físico-químico de aguas residuales Las pequeñas partículas coloidales presentes en el agua se encuentran cargadas eléctricamente con carga del mismo signo, por lo que están permanentemente repeliéndose. Esta es la causa de que, al no poder agruparse, y aumentar de este modo de tamaño, no puedan sedimentar. Pues bien, existe un fenómeno llamado *coagulación* que consiste en que mediante la adición de un producto denominado *coagulante* se eliminan (neutralizan) estas cargas eléctricas. Conseguido esto, las diferentes partículas pueden ya ponerse en contacto, agregándose unas a otras; este fenómeno recibe el nombre de *floculación*, llamándose "flóculo" a las partículas agregadas resultantes. Existen productos que favorecen la floculación, por lo que se les denomina *floculantes*.

La depuración convencional hasta aquí analizada, dotada de tratamiento biológico, es, con toda seguridad, el procedimiento más económico para eliminar materia orgánica biodegradable, sobre todo en el caso de aguas residuales urbanas que presenten un grado de contaminación muy uniforme a lo largo del tiempo. Sin embargo, puede ser interesante, en ocasiones, el empleo de los llamados *tratamientos físico-químicos*, consistentes en la floculación o precipitación seguida de la separación de los flóculos formados, bien por decantación o bien por flotación. Los defensores a ultranza de este tipo de tratamiento preconizan su empleo en solitario, es decir, eliminando el tratamiento secundario o biológico. De este modo se llega a un grado de depuración intermedio entre los proporcionados por los tratamientos primarios y por los tratamientos biológicos que puede resultar muy interesante, por ejemplo, en el caso de vertidos al mar. Presenta el inconveniente de unos gastos muy elevados en reactivos.

También pueden aplicarse tratamientos físico-químicos inmediatamente antes del

tratamiento biológico, bien de una manera permanente, cuando la contaminación de las aguas afluyentes es muy elevada, en cuyo caso tienen como misión reducir la contaminación (carga) que llega al reactor biológico, o bien temporalmente, cuando se producen variaciones estacionales importantes en la carga contaminante, como ocurre, por ejemplo, en las ciudades turísticas, cuyo número de habitantes es muy variable a lo largo del año. En este caso puede resultar económicamente interesante la implantación de este tipo de tratamiento, ya que permite fácilmente un funcionamiento discontinuo del mismo, adaptándose en cualquier momento a las variaciones estacionales de carga. De este modo, aunque durante los períodos (generalmente cortos) de carga alta el coste de explotación sea más elevado que el del tratamiento convencional equivalente, el coste a lo largo del año puede ser menor al haberse evitado la construcción y el mantenimiento de un proceso convencional excesivamente grande que sólo podría utilizarse a tope durante un corto espacio de tiempo.

Tratamientos terciarios o avanzados de aguas residuales Reciben el nombre de *tratamientos terciarios* o *tratamientos avanzados* aquellos que se aplican a las aguas residuales con posterioridad al tratamiento biológico con el fin de mejorar la calidad del vertido final. Los tratamientos pueden aplicarse tanto a aguas residuales industriales como urbanas, siendo su única limitación su elevado coste, tanto de primera instalación como de explotación. Los tratamientos terciarios se pueden clasificar del siguiente modo: a) tratamientos que pretenden afinar la calidad ya obtenida del agua tratada; b) tratamientos para eliminar, total o parcialmente, microorganismos; y c) tratamientos para eliminar sustancias determinadas. Al *primer grupo* pertenecen las *lagunas de afino*, de las que hablaremos más adelante, así como la *filtración* y el *microtamizado*. La *filtración* sobre lechos de arena, que es imposible realizar directamente con el agua bruta, da buenos resultados con las aguas tratadas biológicamente, consiguiéndose eliminar del 60% al 80% de las materias en suspensión y del 30% al 40% de la contaminación orgánica carbonada. El *microtamizado* consigue los mismos objetivos que la filtración, requiriendo menor cantidad de espacio pero aumentando las dificultades de la explotación.

Al *segundo grupo* de tratamientos terciarios pertenece la *desinfección*, tratamiento que consiste en la eliminación de microorganismos patógenos, a diferencia de la *esterilización*, que consiste en la eliminación de todos los microorganismos y que raramente se emplea con aguas residuales. La *desinfección* se utiliza cuando se tienen sospechas de la existencia de microorganismos patógenos por la incorporación de algún vertido de sanatorios u hospitales, por la existencia de alguna epidemia o bien por la posible reutilización del agua tratada para algún uso que obligue a tomar estas precauciones. Los desinfectantes más empleados son el cloro, las cloraminas, el dióxido de cloro y el ozono.

Finalmente, al *tercer grupo* pertenecen aquellos tratamientos que reducen la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo, principalmente) responsables de los fenómenos de eutrofización ya comentados, así como los que pretenden eliminar compuestos concretos, como pesticidas, herbicidas, metales y elementos disueltos no biodegradables, que necesitan el empleo de técnicas específicas como la *filtración con carbón activo* y la *ósmosis inversa*.

Tratamiento de bajo coste Además de los ya indicados de vertido al mar y de inyección en el terreno, debe considerarse, por su importancia, el *lagunaje*. El uso de las *lagunas de estabilización* está muy extendido, como puede dar idea el hecho de que, en 1964, el 31% de las plantas depuradoras en Estados Unidos (sobre un total de 5.000) eran lagunas de estabilización. Estas lagunas consisten en bolsas naturales o artificiales donde se almacena el agua residual durante largos períodos de tiempo, en presencia o no de oxígeno, hasta que se consigue la fermentación de la materia orgánica que transporta el agua residual, y con ello su depuración. Estas lagunas son particularmente interesantes en aquellos lugares donde el precio del suelo es bajo, ya que requieren cantidades importantes del mismo para su instalación. Según que en ellas la fermentación sea realizada por bacterias aerobias, anaerobias o facultativas (las que viven tanto en presencia de oxígeno molecular como de oxígeno combinado), reciben, respectivamente, los nombres de *lagunas aerobias*, *anaerobias* y *facultativas*. Desde otro criterio de clasificación, si la laguna recibe el agua residual sin tratar, toma el nombre de *laguna primaria*, reservando el nombre de *laguna secundaria* a la receptora de aguas previamente tratadas con un tratamiento primario o biológico; finalmente, recibe el nombre de *laguna de afino* la laguna secundaria de agua procedente de un tratamiento biológico y que se mantiene bien aireada. En ella, con tiempos de permanencia inferiores a cuatro días, pueden conseguirse reducciones muy importantes de la materia orgánica suspendida.

Véase **Agua; Agua, ciclo del; Agua, potabilización del; Aguas subterráneas**









En las imágenes, los cuatro sistemas clásicos de *deshidratación de fangos* por vía mecánica: filtros de vacío (1), centrífugas (2), filtros de prensa (3) y filtros de banda (4). La utilización de uno u otro sistema depende fundamentalmente del uso final que se vaya a dar al fango una vez deshidratado. Los fangos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas pueden utilizarse como abono para la agricultura siempre que su composición química (ausencia de metales pesados) y los costes de transporte (aquí influye el grado de deshidratación alcanzado) lo permitan. Otro uso posible del fango es como acondicionador de suelo y relleno de vaguadas en zonas desérticas.

Agua, potabilización del

El desarrollo de la actividad humana necesita, inexcusablemente, utilizar el agua existente en la Naturaleza para numerosos fines, entre los que destacan, por su importancia, los usos potables. El agua, una vez utilizada, debe ser devuelta a la Naturaleza.

Las líneas anteriores definen de manera muy concisa el llamado *ciclo de utilización del agua*: el hombre toma el agua de la Naturaleza, la utiliza y la devuelve a la misma.

Ahora bien, es evidente que las características físicas, químicas y biológicas del agua existente en la Naturaleza impiden la utilización directa de la misma para determinados fines. Por ejemplo, el agua captada para usos potables requerirá una serie de correcciones y tratamientos que eliminen aquellas impurezas que son perjudiciales al hombre. Por otro lado, si el agua, una vez utilizada (agua residual), es devuelta directamente a la Naturaleza, pueden producirse una serie de daños ecológicos que, por desgracia, presenciamos con demasiada frecuencia.

Así queda, pues, configurado el ciclo de utilización del agua mediante la realización sucesiva de tres actividades fundamentales: tratamiento del agua antes de consumirla, uso y consumo del agua y depuración del agua residual antes de su vertido final.

Esas tres actividades están íntimamente relacionadas. En primer lugar, existe una relación a nivel global, una relación de equilibrio derivada del aspecto cíclico y continuo del proceso. En efecto: si el agua se devuelve a la Naturaleza en peores condiciones de calidad que las que tenía cuando fue captada, es evidente que, a menos que la Naturaleza corrija este desequilibrio mediante un proceso de autodepuración, se producirá, necesariamente, un deterioro progresivo y creciente de la calidad del agua. En segundo lugar, existe también una relación entre los tratamientos del agua antes y después de un uso dado: generalmente, cuanto más afinado sea el proceso de depuración de las aguas residuales, menos importancia relativa tendrán los tratamientos previos a los sucesivos usos, al ser superior la calidad del agua captada.

La evidencia de esas relaciones prueba lo acertado de los enfoques globales de los problemas derivados del consumo del agua, ya que, solamente tras el análisis en cada caso concreto del ciclo de utilización del agua correspondiente puede llegarse a soluciones ecológicamente aceptables y económicamente viables.

El ciclo completo de utilización del agua por el hombre puede considerarse formado por una serie de actividades importantes que junto con las tres ya indicadas son las siguientes:

- Captación de los recursos hidráulicos existentes en la Naturaleza.
- Almacenamiento, en su caso, de los mismos.
- Tratamiento del agua en función del uso posterior.
- Sistema de distribución a los puntos de consumo (incluye tanto los depósitos de carga y regulación como la red de distribución propiamente dicha).
- Uso del agua.
- Sistema de recogida del agua utilizada (red de alcantarillado).
- Depuración del agua residual en función de las características del medio receptor y del tipo de vertidos.
- Vertido final a los cauces o masas de agua naturales.

Entre los posibles usos del agua vamos a centrarnos exclusivamente en los potables que, además de ser los más frecuentes, son los que exigen mayores garantías en los procesos de tratamiento.

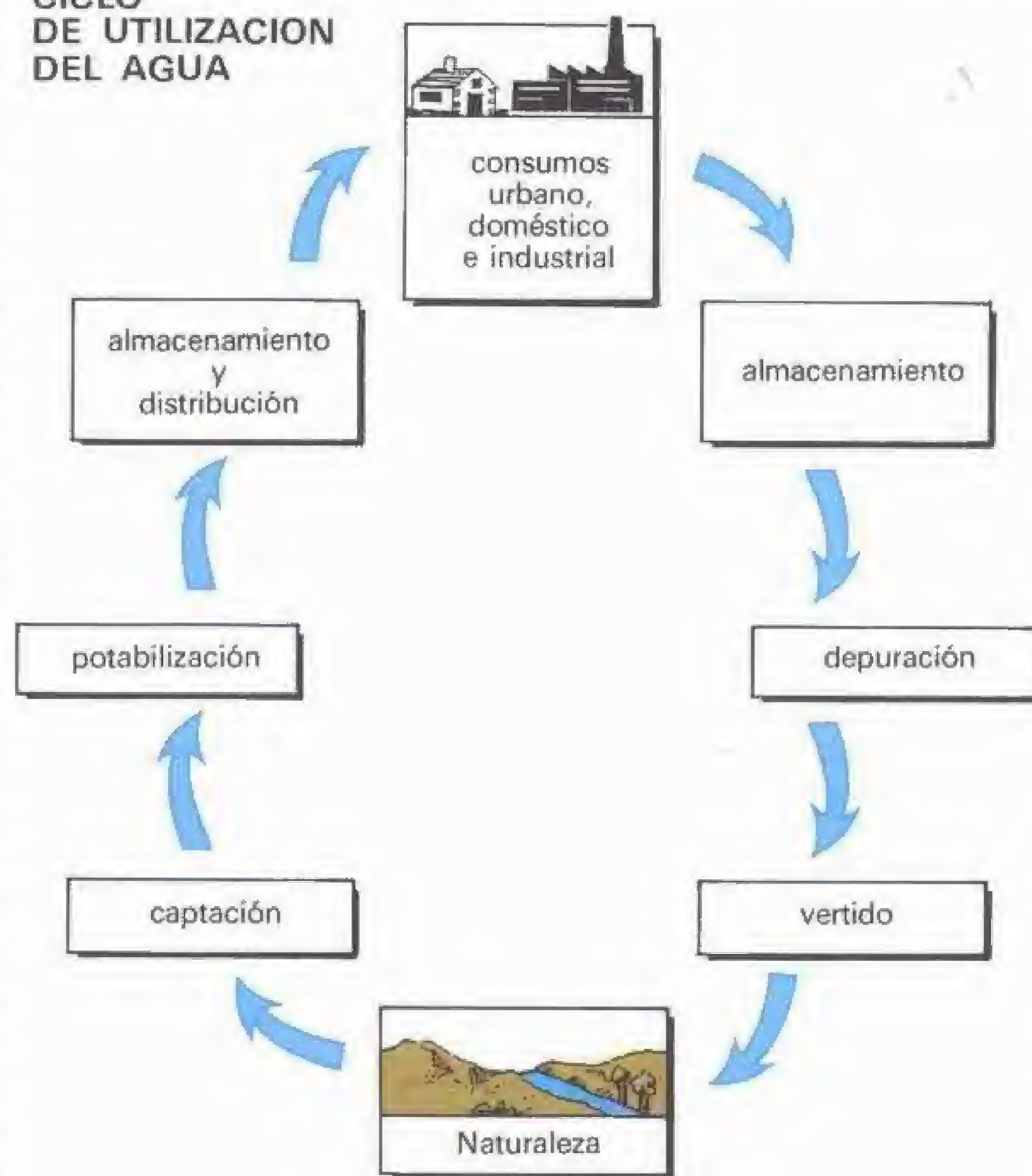
Captación y almacenamiento del agua

Beber un vaso de agua es algo tan natural que raramente nos paramos a pensar en los procesos que han sido necesarios para conseguir que esa agua sea potable y llegue a nosotros.

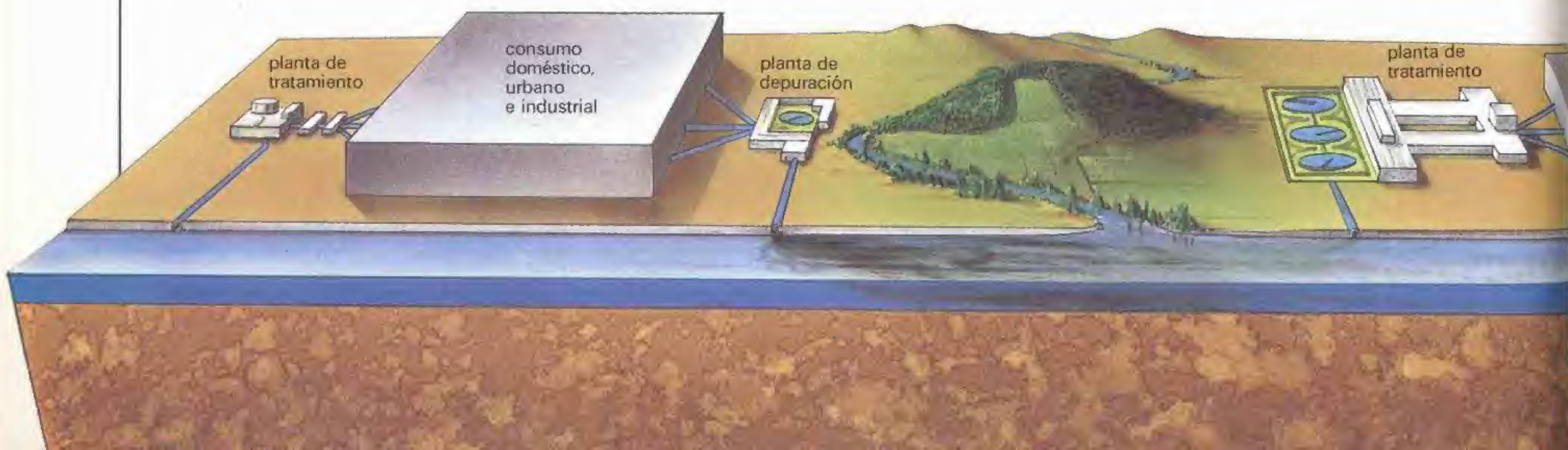
Hasta épocas no muy lejanas, el hombre cubría sus necesidades de agua potable tomándola directamente de la Naturaleza, bien aprovechando la de los ríos y cauces superficiales bien excavando pozos en busca de acuíferos freáticos y subterráneos situados a profundidades que los medios técnicos disponibles permitiesen alcanzar.

En cualquier caso, hoy en día es aconsejable y en muchas ocasiones necesario, sobre todo en lo que se refiere al abastecimiento a núcleos importantes, disponer de embalses de acumulación que permitan hacer frente a las posibles fluctuaciones de caudal de los cursos o manantiales que aportan agua.

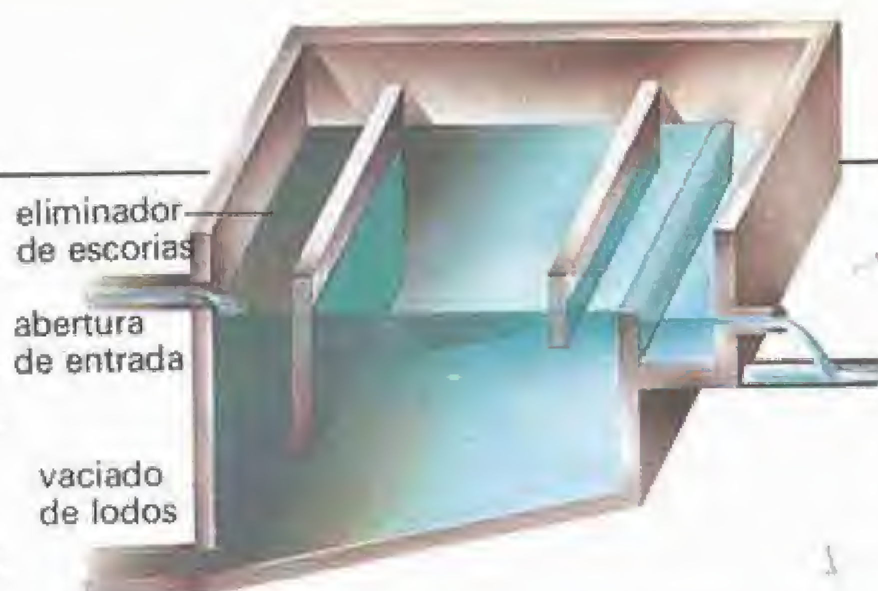
Por otra parte, no debemos olvidar, al hablar de captación de agua, el depósito



El proceso de aprovechamiento del agua comprende los siguientes pasos: captación; tratamiento para garantizar su potabilidad; transporte hasta los puntos de consumo y almacenamiento de regulación; distribución y utilización del agua. Tras su uso, el agua queda inhabilitada para su posterior utilización si no es sometida a un proceso de rehabilitación que permita devolverla a la Naturaleza en condiciones adecuadas. Este nuevo proceso completa el ciclo de utilización del agua y consta de: recogida del agua mediante la red de alcantarillado; concentración y transporte en grandes colectores; depuración en una planta específica para aguas residuales y vertido final. El ciclo exige la repetición de operaciones de depuración en diversos puntos. De forma que la intensidad del tratamiento del agua extraída de un curso fluvial en el que ha habido un proceso de autodepuración depende de los sistemas de las depuradoras que vierten, aguas arriba, en ese cauce.



más importante de que dispone la Naturaleza: el mar. A pesar de los costes que las estaciones potabilizadoras de estas aguas puedan tener, no cabe duda de que, en determinadas ocasiones, es imprescindible su utilización.





En el esquema, dos importantes elementos de casi todas las instalaciones de depuración de aguas para usos potables: un depósito de sedimentación en el que, mediante la fuerza de gravedad y el tiempo adecuado, se eliminan muchas sustancias por decantación en el fondo, y un filtro de arena en el cual el agua desciende a través de varios lechos de arena, primero más fina y después, progresivamente, más gruesa.

Necesidad de los tratamientos de las aguas para usos potables La concentración de la población en núcleos urbanos cada vez mayores y el enorme crecimiento industrial han ocasionado la producción masiva de desechos orgánicos y químicos altamente nocivos, que contaminan los acuíferos poco profundos y los cursos de agua superficiales.

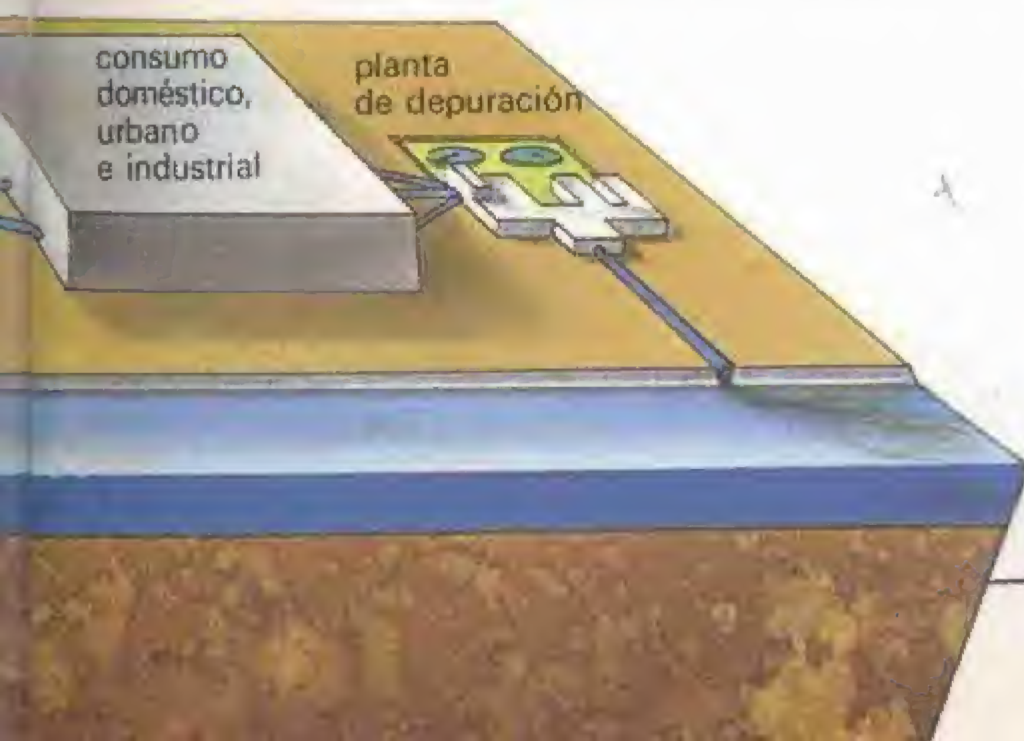
Actualmente, la obtención de agua potable requiere someter las aguas naturales a una serie de cambios físicos, químicos y biológicos que den como resultado la potabilización y permitan el uso de las mismas para el consumo humano. Es evidente que la naturaleza de las aguas captadas condicionará el tipo de tratamiento a adoptar. Hay aguas, sobre todo las subterráneas, a las que sólo será necesario aplicar un tratamiento de desinfección para hacerlas aptas para un uso potable. Por el contrario, existen aguas superficiales muy contaminadas, tanto por residuos urbanos o industriales como por vertidos procedentes de lagos o embalses con problemas de eutrofización, que necesitan, para la obtención de un agua potable, el empleo de tratamientos más complejos y perfeccionados.

En otro orden de ideas, la seguridad en la transmisión hídrica de numerosos agentes patógenos causantes de enfermedades en el hombre es otra razón fundamental que aconseja someter al agua de abastecimiento a núcleos de población, con independencia de sus características originales, a tratamientos, como mínimo de desinfección, realizados bajo el control de minuciosos análisis bacteriológicos.

Tratamientos convencionales de aguas para usos potables Reciben este nombre aquellos tratamientos de utilización generalizada y clásica que tienen como fines básicos la clarificación del agua y su seguridad sanitaria.

En líneas generales, podemos suponerlos reducidos a las siguientes fases: *coagulación*, *floculación*, *sedimentación*, *filtración* y *desinfección*.

Las tres primeras fases —*coagulación*, *floculación* y *sedimentación*— constituyen los escalones fundamentales del proceso primario de clarificación y transparencia de un agua, siendo, además, la forma más económica de eliminación de partículas coloidales. Como coagulantes se emplean normalmente sales de aluminio o hierro, utilizándose, en ocasiones, una serie de compuestos coadyuvantes de la coagulación y floculación, que pueden ser inertes, como las bentonitas, o con polaridad, como la sílice activada. La sedimentación puede realizarse en clarificadores, de los que existen numerosos tipos (de flujo laminar, horizontal, vertical, de circulación acelerada, etc.), o en tanques de flotación que resultan muy adecuados en el caso de aguas con poca turbiedad y presencia de algas.



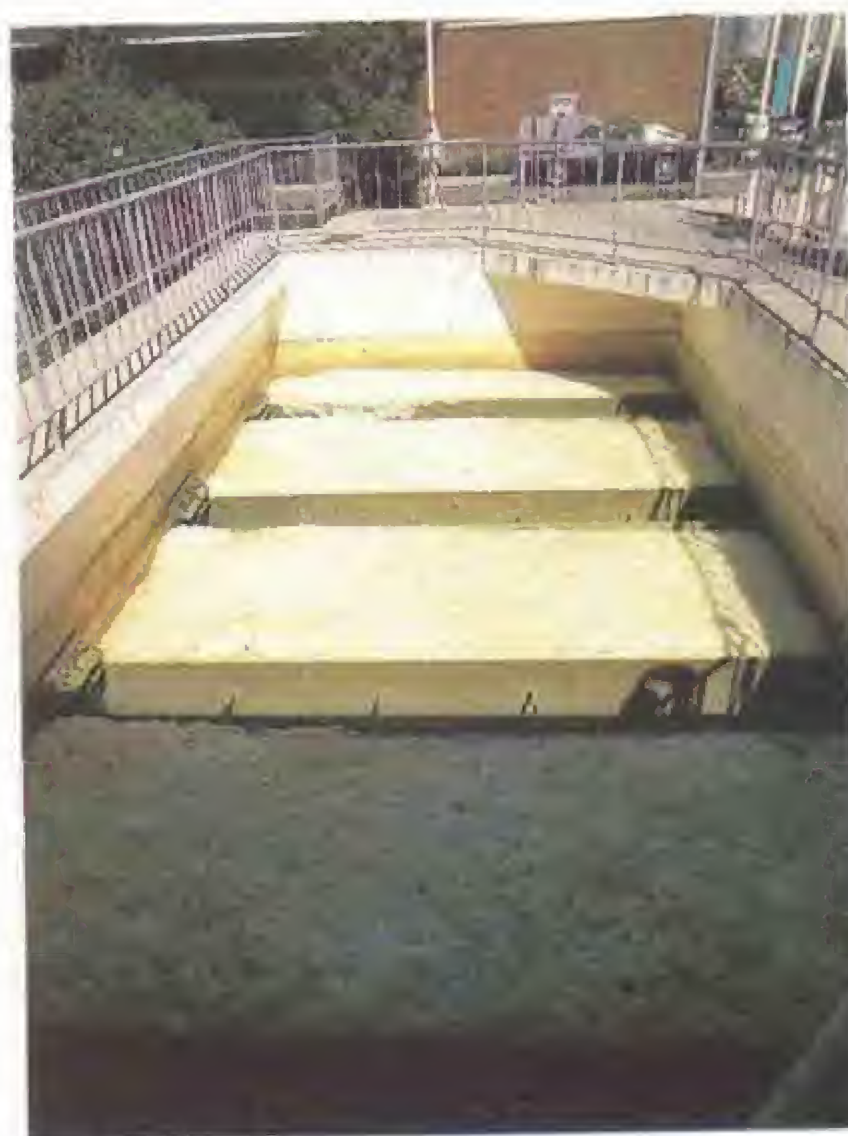
Otra de las operaciones básicas del tratamiento es la *filtración*, que consiste en el paso del agua por un medio poroso que retiene las impurezas contenidas en ella. Como medio poroso suele utilizarse frecuentemente arena por su escaso coste relativo y su eficacia. A veces se emplea antracita en combinación con la arena, formando filtros de varias capas, que proporcionan mejores resultados pero con un coste económico superior. Con el paso del tiempo, las impurezas van colmatando los huecos existentes en el filtro, dificultando el paso del agua hasta imposibilitarlo totalmente. Llegado este momento es preciso proceder a su lavado, operación consistente en inyectar agua a presión en contracorriente, es decir, en sentido contrario a como circula el agua que se está filtrando, a fin de eliminar las impurezas retenidas en el filtro. Esta agua de lavado se incorpora nuevamente al inicio del tratamiento.

Finalmente, la *desinfección* completa el tratamiento del agua. Puede realizarse con cloro, ozono, rayos ultravioleta, cloraminas, etc. La utilización del cloro es barata y de control automático fácil; la formación de ciertos compuestos clorados que dan mal sabor al agua puede llegar a limitar su utilización. La utilización de ozono es aproximadamente diez veces más costosa que la del cloro, aunque puede ser necesario su uso en aguas con mal sabor por la presencia de fenoles o pesticidas. La reducida permanencia del ozono libre en el agua obliga a completar el tratamiento con cloro a fin de garantizar la ausencia de riesgos para la salud. El empleo de rayos ultravioleta resulta muy caro, por lo que sólo puede utilizarse con pequeños caudales. Finalmente las cloraminas (cloro y amoniaco) son menos eficaces que el cloro libre pero permanecen más tiempo en el agua; se aplican cuando la estación de tratamiento está alejada del punto de consumo.

Tratamientos especiales de aguas para usos potables Reciben este nombre aquellos tratamientos que intentan corregir alguna característica concreta del agua, requiriendo generalmente el empleo de técnicas más avanzadas que las que se utilizan en los tratamientos convencionales. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, los tratamientos de *ablandamiento* y *desalinización* y los que utilizan *carbón activo*.

Los tratamientos de *ablandamiento* reducen la dureza del agua por su negativa influencia en el mantenimiento de tuberías de agua caliente e intercambiadores de calor. No obstante, no conviene reducir demasiado la dureza del agua, pues las aguas excesivamente blandas resultan agresivas y coadyuvantes de ciertos trastornos cardiovasculares.

Los tratamientos de *desalinización* más empleados son la electrodiálisis, la ósmosis inversa, la congelación y la destilación. Uno



En la foto, limpieza a contracorriente en un filtro de arena, instalado a continuación de una laguna de oxidación. El agua, antes de llegar al filtro, ha sido clarificada por flotación en un tanque aireado.

de los usos más notables de estos tratamientos es la utilización del agua de mar con fines potables.

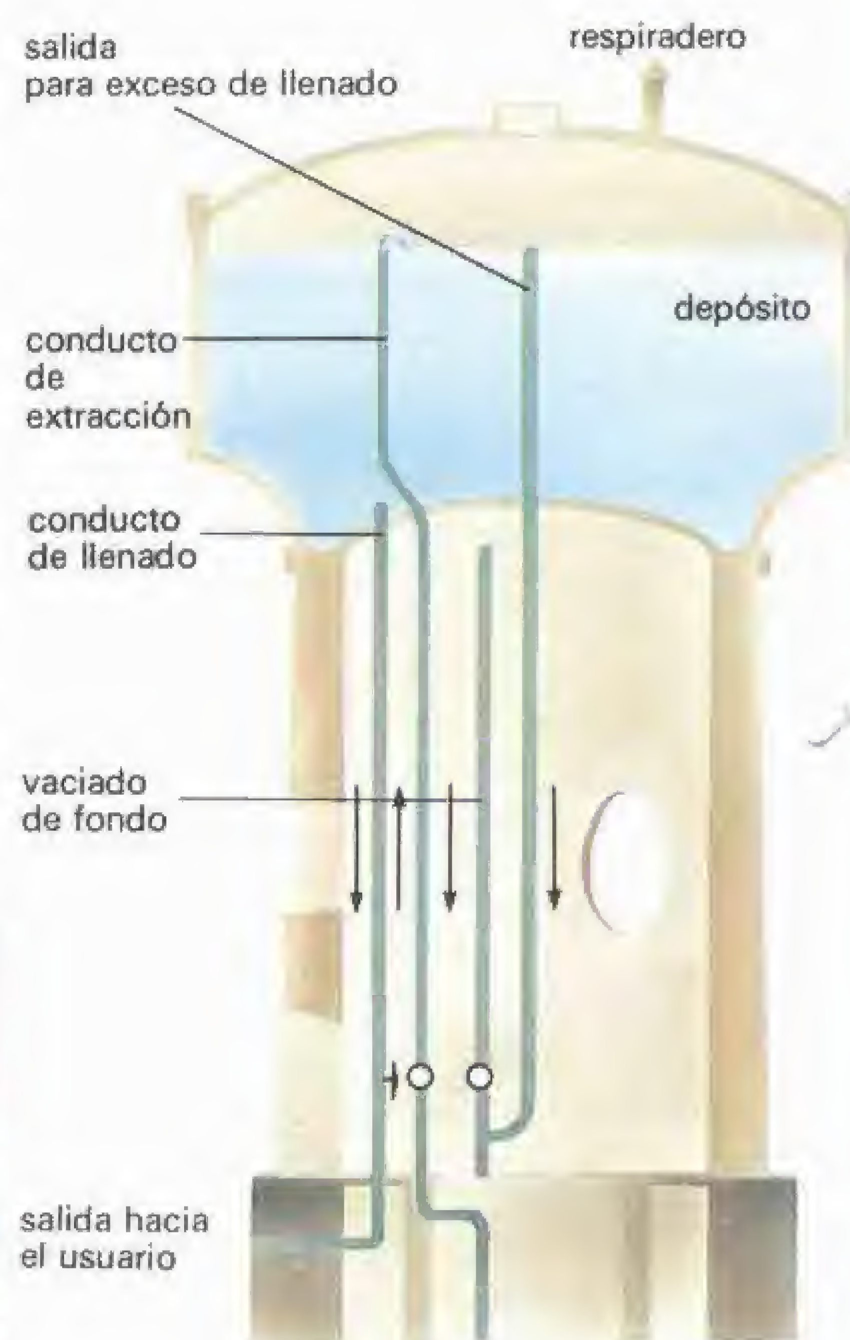
Finalmente, conviene destacar por su creciente empleo el uso de *carbón activo* para la eliminación, por absorción, de ciertas sustancias, tales como grasas, herbicidas, pesticidas, etc. que pueden afectar a la salud, y otras que producen olores y sabores desagradables. El carbón activo se prepara calentando al rojo vivo carbón o madera con una aportación insuficiente de aire. A continuación, la partícula de carbón se "activa" por contacto a alta temperatura con un gas oxidante. De este modo se crea en la partícula de carbón una estructura porosa, y, por tanto, con gran superficie, lo que facilita su empleo como material de filtro. Según el tamaño de las partículas obtenidas, recibe el nombre de carbón activo granular o carbón activo en polvo. Este último se añade al agua bruta o coagulada, empleándose el primero en filtros propiamente dichos.

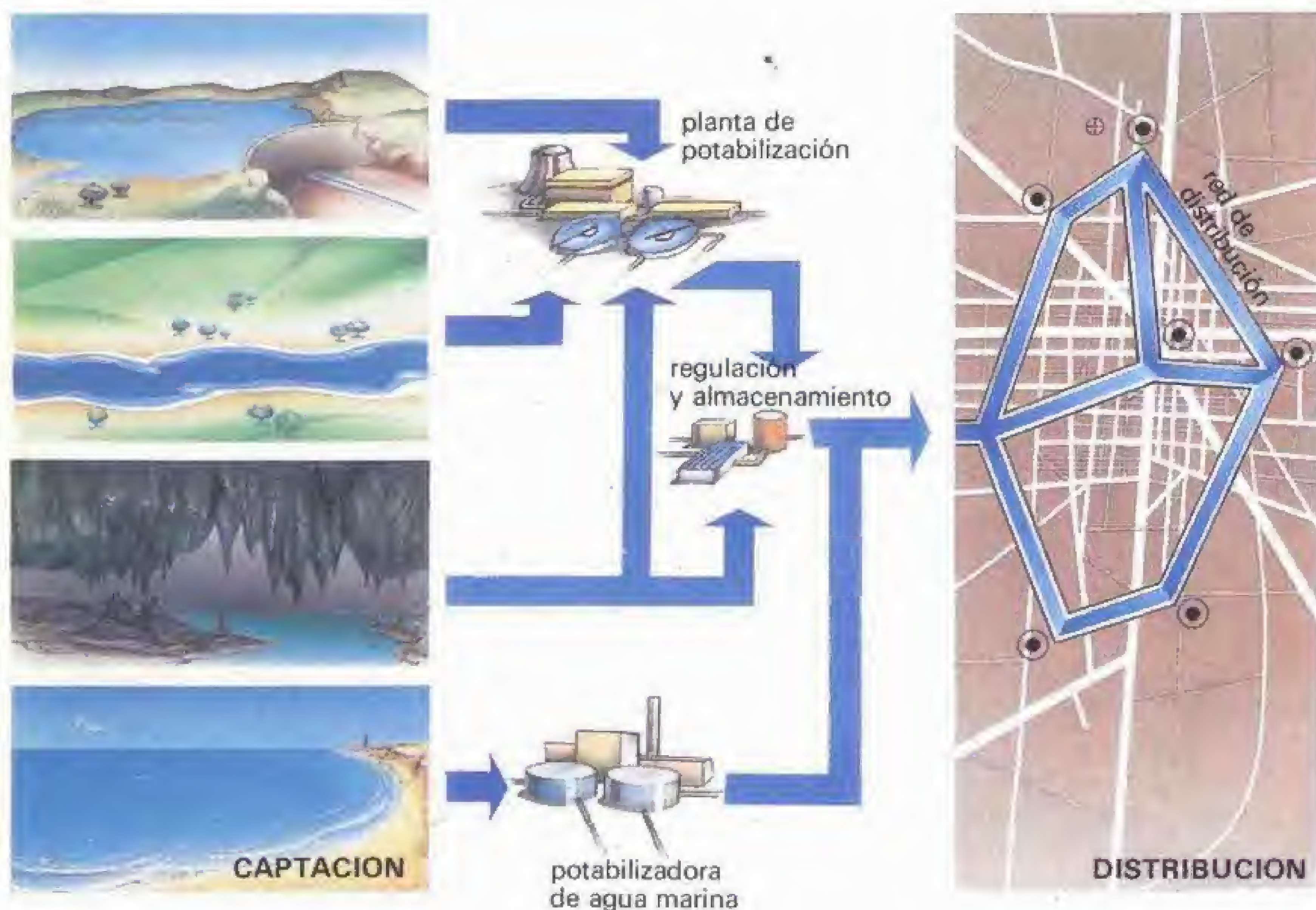
Sistemas de distribución de agua potable a los puntos de consumo La distribución del agua almacenada en los diferentes depósitos existentes en las ciudades hasta los distintos consumidores se consigue a través de una serie de tuberías enterradas que garantizan el abastecimiento de agua potable a los distintos puntos de suministro incluso en los momentos de máximo consumo.

El tamaño y estructura de cada ciudad condicionan el sistema de distribución de agua potable más adecuado para la misma; sin embargo, existen dos sistemas básicos que vamos a describir someramente: el *sistema ramificado* y el *sistema reticular*. El *sistema ramificado* contiene una arteria principal de la que van saliendo, con diámetros menores, distintas tuberías secundarias, de las que, a su vez, se desgajan otras tuberías de tercer orden, y así sucesivamente hasta llegar a todos los consumidores. La ventaja de este sistema es que al ser los diámetros cada vez menores resulta una evidente economía en la instalación. El mayor inconveniente es que en caso de avería la red quedará en seco aguas abajo del punto averiado. El *sistema reticular* establece una auténtica malla cerrada en las tuberías de distribución, de manera que el agua puede llegar a un mismo punto por varios caminos, lo que elimina el inconveniente indicado aunque con un coste de instalación muy superior.

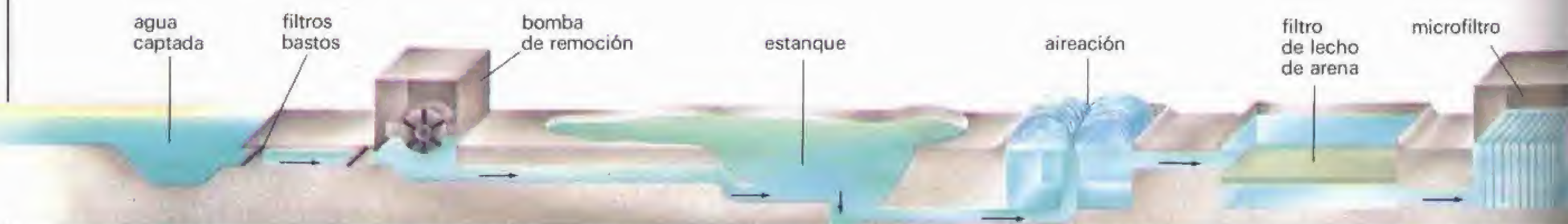
Sistema de recogida de las aguas residuales Existen dos sistemas básicos de recogida de las aguas usadas o residuales. La diferencia entre ambos consiste en la incorporación o no de las aguas de lluvia al caudal de aguas que se debe evacuar. Estos dos sistemas reciben el nombre de *alcantarillado unitario*, si incorpora en una misma canalización las aguas procedentes de la lluvia y de los riegos (aguas blancas) y las aguas procedentes del uso urbano, tanto industrial como propiamente urbano (aguas negras), y de *alcantarillado separativo* si canaliza independientemente los vertidos de aguas blancas y negras, dejando que las primeras se evacuen libremente en función de la topografía de la ciudad y que las segundas se incorporen a los cauces receptores a través de canalizaciones propiamente dichas.

Los sistemas más usados son los unitarios, que permiten, al menos "en teoría", una evacuación rápida tanto de las aguas negras como de las blancas. Decimos "en teoría" porque es preciso indicar la impo-





A la izquierda, esquema de un sistema reticular de distribución de agua a una ciudad. En este sistema, contrariamente a lo que sucede en el ramificado, el agua puede llegar a un punto por diversos conductos, por lo que, en caso de avería, no queda en seco toda la red aguas abajo del punto averiado. Tiene la desventaja de que los costes de instalación son más elevados. Los depósitos elevados o "torres de agua" son los destinados a proveer de la presión adecuada a las redes de abastecimiento de una ciudad. La topografía del lugar de ubicación de las ciudades a abastecer condiciona los sistemas de distribución, situación de los depósitos de regulación, bombeos, y el trazado de las conducciones.



sibilidad, por razones económicas, de construir un alcantarillado unitario que ofrezca la garantía de absorber cualquier lluvia torrencial que se presente. Es práctica usual en ingeniería construir alcantarillados que, *estadísticamente*, sólo resulten insuficientes una vez cada diez años durante breves instantes. Este límite puede ser, evidentemente, más alto, pero el coste que supone construir alcantarillados que permitan un mayor coeficiente de seguridad no parece estar justificado, máxime si la topografía de la ciudad proporciona un incremento de ese coeficiente de seguridad en el sentido de que la insuficiencia de la capacidad de desagüe de la red de alcantarillado no condiciona necesariamente la producción de inundaciones en la ciudad.

Las aguas residuales se recogen, primeramente, en la red secundaria de alcantarillado, pasando después a la red primaria, constituida por colectores de mayor sección, los cuales desembocan, finalmente, en los grandes colectores de transporte encargados de conectar la red de alcantarillado con el sistema de depuración.

Véase **Agua, depuración del**

El agua potable, una vez utilizada, es recogida por la red de alcantarillado. En el esquema, una ciudad con alcantarillado unitario, en el que aguas pluviales y residuales se recogen en el mismo colector por el que son conducidas a las estaciones depuradoras.

Cuando las aguas del manantial originario no se hallan excesivamente contaminadas y se dispone de mucho espacio, se pueden adoptar soluciones de gran eficacia con medios relativamente sencillos.

Abajo, conjunto de dispositivos de depuración necesarios para potabilizar el agua cuando ésta es captada de una fuente poco contaminada. Se remansan las aguas captadas en grandes lagunas artificiales. La larga permanencia en estas cuencas permite la sedimentación de la carga sólida y posibilita el contacto del oxígeno del aire con el agua, iniciándose un proceso natural de oxigenación. Una vez recogida el agua de estos estanques, se la somete a un proceso de oxigenación aún más rápido, elevándola en grandes surtidores (este método resulta más ventajoso que el de inyectar aire en el líquido, proceso que requiere mecanismos más complejos, pero menos espacio). Dos estadios más de filtrado permiten después la eliminación de todas las partículas en suspensión; sin embargo, aún queda si bien en dosis bajas, una carga bacteriana peligrosa. Esta se elimina mediante cloración del agua.



Agua mineral

En general, podemos definir como *agua mineral* todo tipo de agua que contenga sustancias minerales en disolución. Desde este punto de vista, toda *agua natural* podría ser considerada como agua mineral. En efecto, ninguna de las aguas que encontramos corrientemente en la naturaleza es en realidad *agua pura* desde el punto de vista químico. Incluso el agua de lluvia, que es la forma más pura de agua natural, contiene aproximadamente un 0,003% de materia disuelta que procede de las partículas que el aire tiene en suspensión. El agua pura sólo puede ser obtenida en el laboratorio químico tras ser sometida a destilación o a otros tratamientos, tales como el paso a través de resinas cambiadoras de iones.

Este hecho está motivado precisamente por las propiedades químicas del agua, que es uno de los mejores disolventes que existen. Por ello, tiende a arrastrar todo tipo de materiales con los que entra en contacto a lo largo de su ciclo en la Tierra. Se ha podido calcular que aproximadamente el 30% del agua recogida por la superficie terrestre procedente de las precipitaciones se infiltra en el suelo, poniéndose en contacto con una gran diversidad de depósitos minerales, que disuelve en mayor o menor grado según la naturaleza de cada uno. Posteriormente estas aguas subterráneas pueden emerger libremente a la superficie a través de manantiales o ser extraídas mediante bombeo.

Las aguas de los manantiales suelen contener en disolución pequeñas cantidades de gas y cantidades variables de sales de sodio, potasio, magnesio, calcio y hierro, así como materia orgánica extraída de restos vegetales y animales en descomposición. Además, pueden llevar materiales en suspensión tales como arcilla fina, fragmentos de materia orgánica y microorganismos vivos.

Cuando el agua natural contiene en disolución cantidades apreciables de compuestos de calcio y magnesio (por lo común cloruros, sulfatos y bicarbonatos), se dice que son *aguas duras*, porque la acción química de estos compuestos sobre el jabón origina un producto insoluble. El agua dura puede ocasionar problemas en las instalaciones industriales debido a que se pueden

Las aguas de manantiales excavados en rocas eruptivas atraviesan generalmente rocas silíceas poco solubles; brotan, por lo tanto, muy pobres en minerales disueltos. Son en su mayoría aguas oligominerales, óptimas como aguas de mesa; muy raras veces la naturaleza de los iones les confiere propiedades curativas.

manantial de zona de contacto de estratos
roca impermeable
roca parcialmente permeable por fisuración
roca eruptiva metamórfica

De las rocas calcáreas brotan casi siempre aguas mediominerales o muy mineralizadas. Pero sucede que el patrimonio iónico, rico en cantidad, es a menudo, pobre en calidad, puesto que se limita a la presencia exclusivamente de caliza, es decir de carbonato cálcico. Muchas veces estas aguas son naturalmente ricas en dióxido de carbono, cuya presencia permite que los carbonatos puedan permanecer en solución.

línea de manantiales
capa acuífera en estratos arcillosos permeables
arcillas impermeables

Las aguas minerales que provienen de manantiales en rocas arcillosas tienen a menudo características imprevisibles. Hay aguas oligominerales, es decir, pobres en sustancias disueltas, o aguas ricas; esto es porque el paso a través de la estructura de la arcilla ha provocado a menudo intercambios entre los iones de arcilla y los de agua. Entre las aguas con alto contenido en iones se encuentran las dotadas de cualidades terapéuticas.

zona de infiltración
grutas y fisuras originadas por disolución
calizas solubles
manantial
estrato impermeable

Las aguas que han descendido muy en profundidad a través de fracturas, alcanzando rocas calentadas por el calor de las capas profundas de la Tierra, han podido llevar en solución grandes cantidades de compuestos, que rara vez se encuentran en aguas superficiales más frías. Es entre las aguas más profundas donde se encuentran las más mineralizadas y, sobre todo, aquéllas dotadas, gracias a algunos componentes, de las más interesantes virtudes terapéuticas.

agua de lluvia
manantial
roca permeable por fisuración
roca permeable por fisuración

formar acumulaciones minerales en las conducciones, y en ningún caso pueden utilizarse para alimentar calderas de vapor. Por este motivo, en algunos países, como Estados Unidos, se suelen depurar las sales de calcio y magnesio contenidas en las aguas destinadas al abastecimiento de las grandes comunidades.

Una vez hechas estas consideraciones, hemos de reconocer que en nuestra vida cotidiana no identificamos como agua mineral a cualquier tipo de agua natural. Cuando hablamos de agua mineral, nos estamos refiriendo específicamente a algunos tipos de agua que, por contener en disolución cantidades anormalmente elevadas de determinadas sustancias, poseen un sabor característico o algunas propiedades especiales.

Clasificaciones de las aguas minerales
Aunque las aguas minerales se pueden clasificar, según un criterio científico, atendiendo a su composición, que se define por el número de iones disueltos y el residuo fijo, es decir, el contenido en sales tras evaporar a 180 °C, aquí lo haremos en función del uso que hacemos de las diferentes aguas minerales, pudiendo clasificarlas en dos grandes grupos:

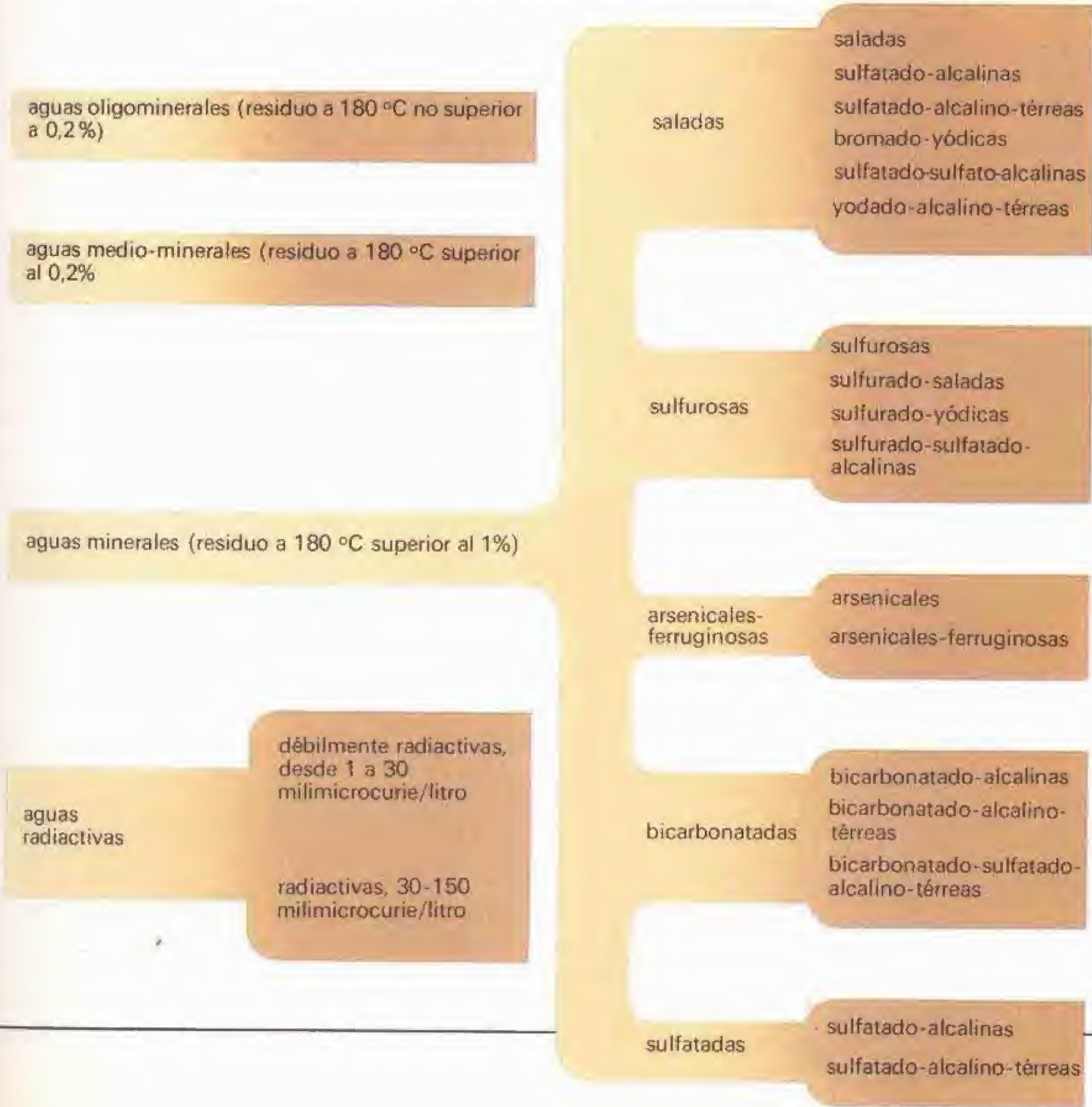
• *Aguas minerales de mesa*. Son aquellas que por su particular contenido en sales resultan muy agradables para el consumo. Hay que tener en cuenta que, en general, la materia inorgánica contenida en el agua no sólo no es perjudicial, sino que es incluso recomendable por aportar compuestos minerales que nuestro organismo necesita. Dentro de este grupo merecen una especial mención las aguas carbonatadas, o más popularmente conocidas como aguas minerales "con gas", así denominadas por contener altas proporciones de dióxido de carbono disuelto.

• *Aguas minero-medicinales*. Son las aguas minerales que tienen aplicación terapéutica. A diferencia de las anteriores, suelen tener sabor desagradable, por lo que no es frecuente su uso como aguas de mesa. Los tipos existentes y sus indicaciones son muy numerosos, tal como se ilustra en el cuadro adjunto.

Aunque todos estos tipos de aguas podrían prepararse de manera artificial en el laboratorio, las aguas minerales comercializadas deben ser naturales. En muchos países existe una legislación específica que tiende a evitar fraudes en este sentido. En la mayoría de los casos se obliga a embotellar el agua mineral en sus manantiales de origen sin ningún tipo de tratamiento, a excepción de la adición de dióxido de carbono, único aditivo autorizado para gasificar; asimismo, se ejercen controles sanitarios adecuados para asegurar la potabilidad de las aguas minerales destinadas al consumo. Las aguas potables deben estar exentas de materia orgánica en suspensión y de bacterias patógenas, ya que determinadas epidemias, tales como las de tifus o cólera, se producen por el consumo de aguas contaminadas.

ORGANOS AFECTADOS	AGUA RECOMENDADA
estómago intestino	aguas sulfatado-alcalinas aguas radiactivas
aparato respiratorio	aguas bromado-yódicas aguas sulfurosas
sistema linfático	aguas bromado-yódicas aguas arsenicales-ferruginosas
aparato genital femenino	aguas bromado-yódicas aguas radiactivas
oído nariz garganta	aguas bromado-yódicas aguas sulfurosas aguas radiactivas
huesos	aguas sulfurosas aguas radiactivas
piel	aguas sulfurosas aguas arsenicales-ferruginosas
sangre	aguas arsenicales-ferruginosas
hígado vías biliares	aguas bicarbonatado-alcalino-térreas aguas bicarbonatadas-sulfatado-alcalino-térreas
riñones	aguas oligominerales aguas radiactivas
aparato circulatorio	aguas sulfatadas aguas radiactivas

CLASIFICACION DE LAS AGUAS MINERALES



El sabor de las aguas minerales nos relata una parte importante de la historia geológica del subsuelo. Las razones que explican que unas aguas tengan más o menos sales que otras vienen dadas por las modificaciones sufridas por las rocas a lo largo del tiempo. En efecto, las aguas que han discurrido durante mucho tiempo por el subsuelo han encontrado a lo largo de su recorrido las condiciones idóneas para disolver minerales de las rocas en algunos puntos concretos. Puede suceder que, al continuar su recorrido, las mismas aguas que se habían enriquecido previamente tengan que ceder ahora su carga mineral formando, por ejemplo, un filón. Si un pozo o manantial interrumpe el camino de estas aguas, abandonan el ciclo y pueden ser aprovechadas directamente para el consumo.

Las cualidades terapéuticas del agua mineral han dado origen a las "estaciones termales", donde, según las dolencias o enfermedades padecidas, es posible efectuar ciclos de curas de diferentes males. Entre las muchas existentes en el mundo, son particularmente famosas las de Vichy Celestins en Francia, que fueron frecuentadas ya por Julio César. En España gozan de fama las de Solans de Cabras, Lanjarón y otras.

Véase **Agua; Agua, ciclo del; Agua, depuración del; Agua, potabilización del; Aguas subterráneas**

Agua pesada

Cuando las tropas nazis cercaron París en mayo de 1940, los científicos franceses Federico e Irene Joliot-Curie (premio Nobel de Química en 1935) organizaron, lógicamente en secreto, la forma de impedir que el abastecimiento mundial de cierto producto químico quedase en manos de los alemanes. En una peligrosa operación, los Curie consiguieron enviar la mayor parte del material a Gran Bretaña gracias a la ayuda de los soldados británicos en retirada en los desesperados últimos días de Dunkerque. Los 130 litros de dicha sustancia que enviaron a Londres fueron fundamentales para los Aliados en su proyecto de creación de la bomba atómica. ¿Cuál era este producto químico tan importante? Simplemente agua. Naturalmente no se trataba de agua del grifo, sino un tipo especial de agua denominado *agua pesada*. Esta, al igual que el agua corriente, contiene un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Sin embargo, a diferencia del agua corriente, los átomos de hidrógeno pertenecen a una rara "variedad" del hidrógeno llamada deuterio (o hidrógeno pesado) cuyo símbolo es D, o H^2, para distinguirlo del hidrógeno "normal" que se indica como H^1: éste es el motivo por el que el agua pesada se indica mediante la fórmula D_2O. Tan sólo existe un átomo de deuterio por cada 5.000 átomos de hidrógeno H^1 y, en la mayor parte del agua, existe una molécula de agua pesada por cada 6.700 moléculas de agua normal. Algunas moléculas de agua poseen un átomo de hidrógeno y uno de deuterio y su fórmula es HDO. Sin embargo, en la práctica nos referimos generalmente sólo al agua pesada pura (D_2O).

Los átomos de hidrógeno son los átomos más sencillos, pequeños y ligeros que existen en el Universo. Contienen generalmente dos partículas: un *protón* central, cargado positivamente, y un *electrón* periférico, cargado negativamente. En 1932 el físico Harold Urey descubrió un segundo tipo de hidrógeno, el deuterio, que posee una tercera partícula, un *neutrón*, que se encuentra en el núcleo junto al protón. Los neutrones poseen aproximadamente las mismas dimensiones que los protones pero, como su propio nombre indica, carecen de carga eléctrica alguna. La presencia del neutrón confiere sólo pequeñas diferencias en las propiedades químicas respecto del hidrógeno H^1, pero da lugar a importantes diferencias en las propiedades físicas.

Ello es debido a que el deuterio pesa casi el doble que el hidrógeno normal. Dado que posee un neutrón, el átomo de deuterio tiene aproximadamente el mismo peso que un átomo de hidrógeno que tuviera dos protones en vez de uno. Decimos que el hidrógeno normal tiene un *peso atómico* de un poco más de una unidad de *masa atómica* (unidad de masa atómica, $1{,}66 \times 10^{-27}$ kg). El deuterio tiene un peso atómico un poco superior a dos, casi el doble que el hidrógeno. Por ello, el agua pesada, D_2O, pesa un poco más que el agua normal, y ésta es la razón por la que se denominó de ese modo. Esa "pesadez" facilita su obtención. Debido a su mayor peso, el D_2O solidifica y hierve a temperaturas más altas que el H_2O. Mientras que el agua solidifica a 0 °C y hierve a 100 °C, el agua pesada solidifica a 3,79 °C y hierve a 101,42 °C. Haciendo hervir lentamente centenares de litros exactamente a 100 °C, hasta que permanezcan sólo algunas gotas en estado líquido, se obtiene agua pesada prácticamente pura.

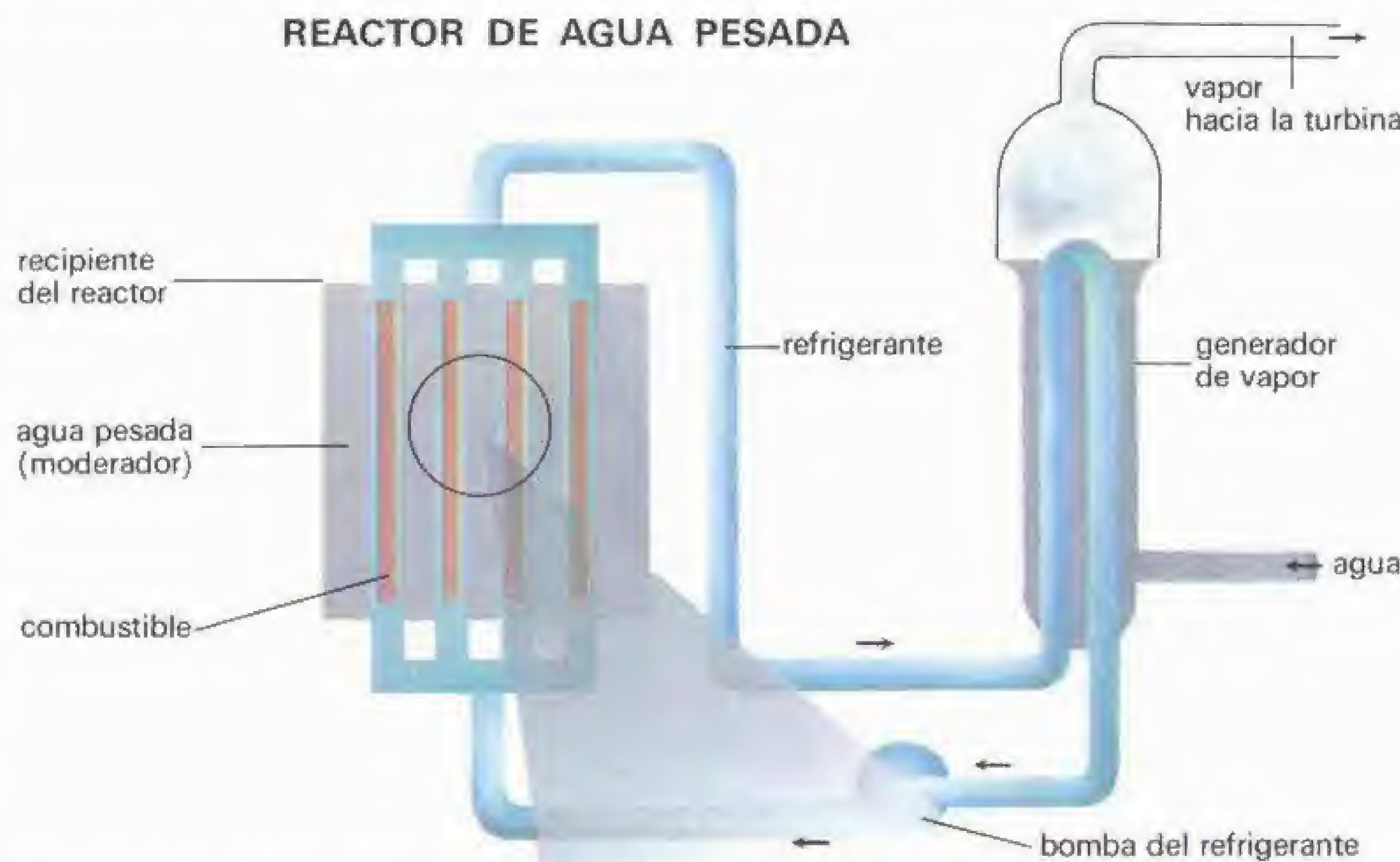
¿Por qué motivo era tan preciosa el agua pesada para las aplicaciones nucleares? Por su capacidad de "enlentecer" los neutrones que se emplean para provocar reacciones nucleares en cadena. Las reacciones en cadena ocurren cuando los núcleos de los átomos, al romperse en fragmentos, desprenden partículas que alcanzan otros núcleos atómicos causando su ruptura, proceso que se continúa "en cadena". Cuando esto ocurre, el resultado es una "explosión" similar a la que produce una bomba atómica.

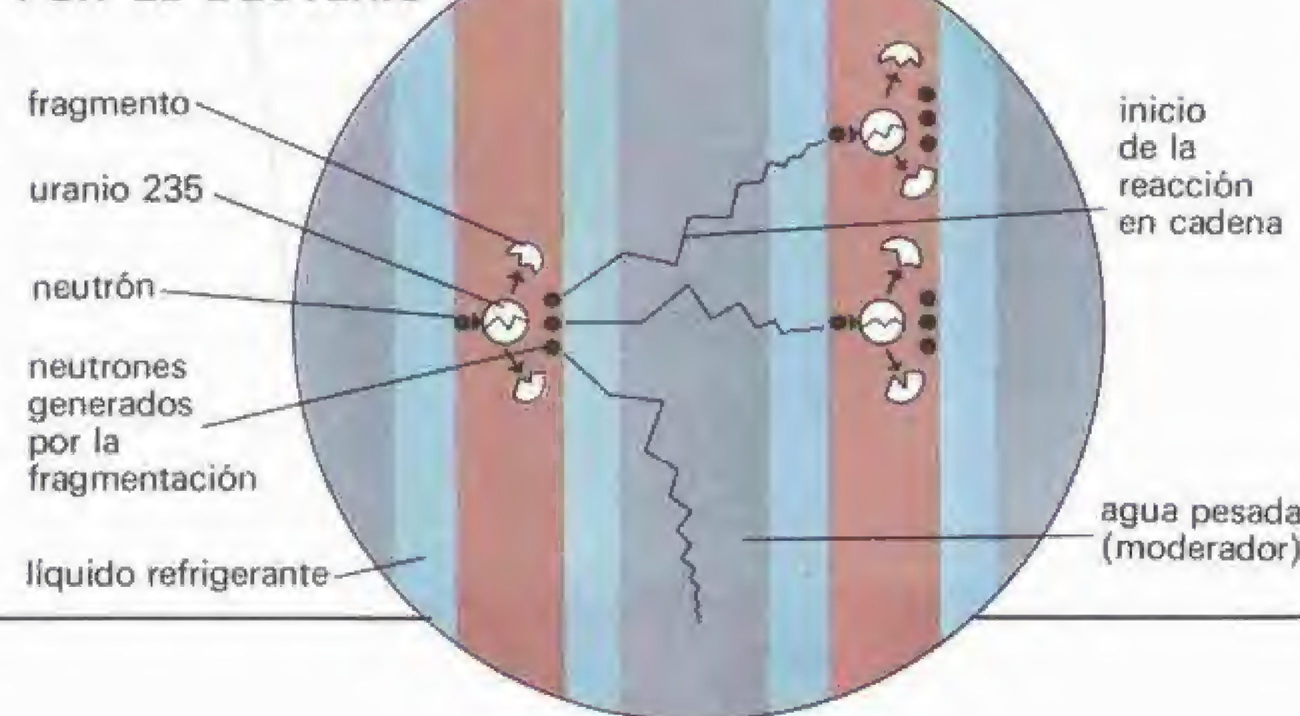
La mayor parte de estas reacciones se provocan bombardeando con neutrones sustancias como el uranio. Los neutrones chocan con los átomos de uranio provocando la división de estos en fragmentos e iniciando una reacción en cadena. Sin embargo, es mucho más conveniente que el proceso transcurra haciendo que los neutrones se desplacen de forma relativamente lenta, ya que de otra forma estos se limitan a "saltar" fuera del alcance de los átomos de uranio con poco efecto práctico. Gran parte de las fuentes de neutrones libres producen neutrones que se desplazan con excesiva velocidad. Para resolver este problema se "pasan" los neutrones a través de un *moderador*, es decir, un material que puede frenarlos. El moderador ideal es un líquido con la densidad adecuada. El agua corriente sería perfectamente apropiada para este propósito, pero el problema reside en que sus átomos de hidrógeno atraen la mayoría de los neutrones, que impactan con aquéllos y dan lugar a la formación de átomos de deuterio. Estos últimos, por el contrario, no absorben nunca neutrones y son ideales para "producir" el tipo de neutrones lentos adecuados para las reacciones nucleares.

Pero, ironías de la historia: los físicos que trabajaban en el proyecto de la bomba atómica decidieron no utilizar el agua pesada debido a que ésta oxida el uranio y a que su proceso de fabricación era demasiado costoso. En su lugar emplearon el grafito, que es una variedad de carbono, negra, blanda y untuosa al tacto. Esto cerró el camino al agua pesada, que en los años cincuenta y sesenta no tuvo apenas aplicaciones.

Actualmente, sin embargo, se aprecia una tendencia a volver al D_2O, gracias a que técnicas cada vez más perfeccionadas permiten controlar algunos de los problemas con que se tropezaron los primeros investigadores que intentaron utilizar agua pesada con los fines descritos.

Véase **Bomba atómica; Hidrógeno; Reacción nuclear**





El agua pesada se utiliza en el reactor nuclear como moderador, lo que quiere decir que actúa frenando a los neutrones que se producen en la reacción de fisión del uranio. En el reactor que se esquematiza al lado, el agua pesada realiza únicamente el papel de moderador, mientras que el agua ligera normal cumple el papel de refrigerante. El vapor de agua ligera producido se envía a una turbina que proporcionará energía.

DESTILACION DEL HIDROGENO



PROCESO DE INTERCAMBIO A DOS TEMPERATURAS



DESTILACION DEL AGUA



ELECTROLISIS DEL AGUA



Los procedimientos más utilizados para la obtención de agua pesada son la destilación del hidrógeno, la destilación del agua, las reacciones de intercambio y la electrólisis. Toda planta de producción consta de la combinación de dos de los procedimientos de separación mencionados. Cada una de las instalaciones descritas no es capaz, por sí sola, de proporcionar agua pesada pura o deuterio (hidrógeno pesado) puro. Por otra parte, deben repetir múltiples veces las operaciones a través de baterías de aparatos idénticos constituidas por decenas o incluso centenares de dispositivos semejantes.
En A, arriba, se indica el proceso de destilación del hidrógeno: el gas que contiene ambos isótopos es licuado y posteriormente evaporado. Primeramente se evapora la fracción ligera y seguidamente la pesada. Esta última se va enriqueciendo progresivamente mediante repeticiones sucesivas del ciclo. El deuterio es recogido finalmente cuando su concentración se considera adecuada para las aplicaciones deseadas. A partir del deuterio puede obtenerse agua calentándolo a altas temperaturas en presencia de oxígeno. El vapor obtenido se condensa en forma de agua pesada.
En B se indica el proceso de las reacciones de intercambio: en un reactor con agua y ácido sulfhídrico a alta temperatura, el hidrógeno tiene tendencia a deuterar completamente el agua pesada, mientras que a temperaturas más bajas proporciona al agua normal un átomo de deuterio.
En C se consigue por simple destilación enriquecer el vapor en agua ligera, y el agua residual en fracción pesada.
Finalmente, en D, se ilustra la electrólisis, que consigue escindir fácilmente el agua ligera, mientras que en la célula permanece la fracción enriquecida en agua pesada.

HIDROGENO (H)		DEUTERIO (D)	
Símbolo: H o H^1		Símbolo: D o H^2	
Número atómico: 1		Número atómico: 1	
Peso atómico: 1,00797		Peso atómico: 2,0159	
1 protón en el núcleo		1 protón y 1 neutrón en el núcleo	

AGUA (H_2O)		AGUA PESADA (D_2O)	
Punto de ebullición: 100 °C	O	Punto de ebullición: 101,4 °C	O
Punto de fusión: 0 °C		Punto de fusión: 3,8 °C	
Densidad relativa: 1		Densidad relativa: 1,10775	
Temperatura de la densidad máxima: 3,98 °C	H H	Temperatura de la densidad máxima: 11,23 °C	D D

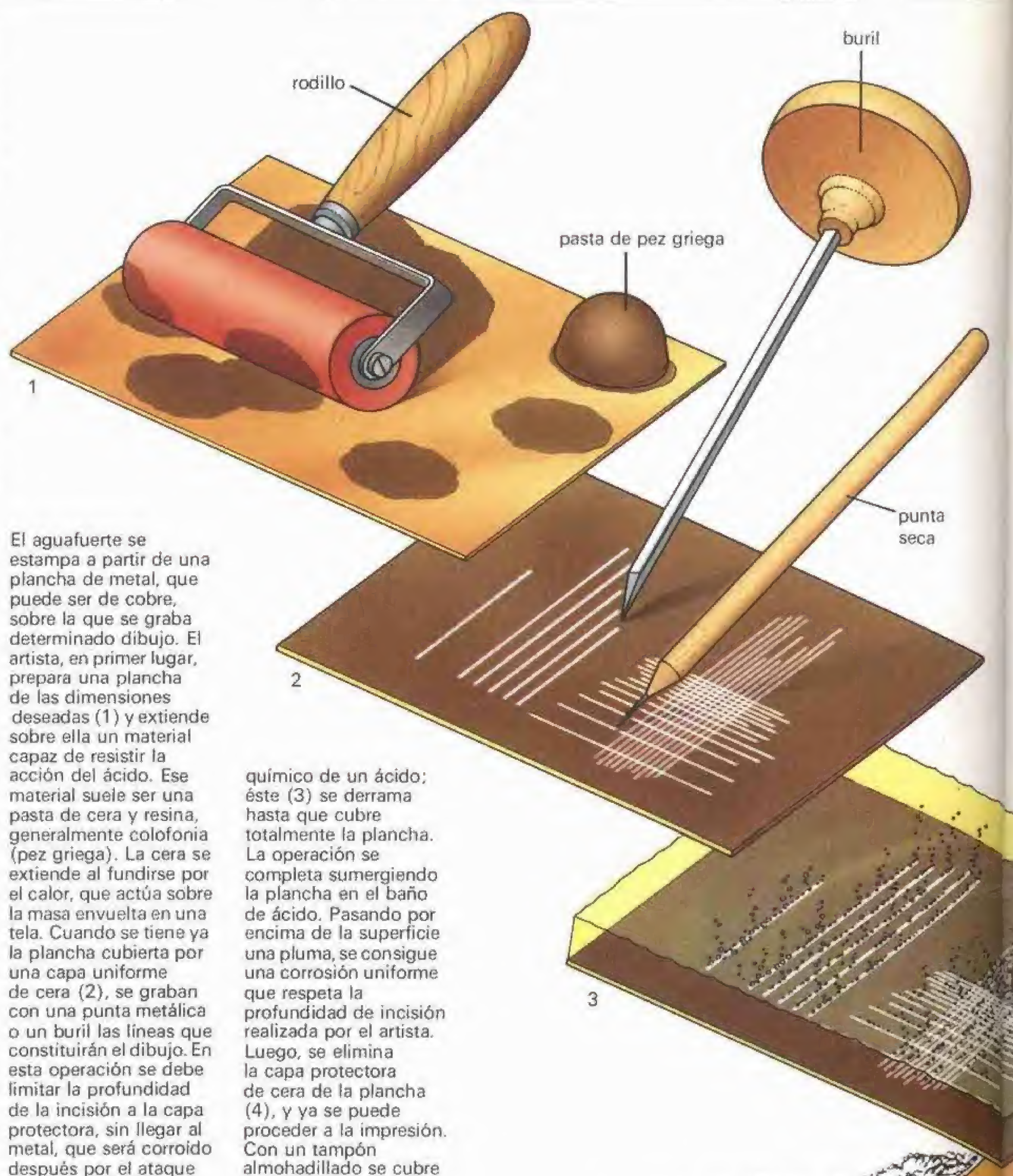


Aguafuerte y grabado

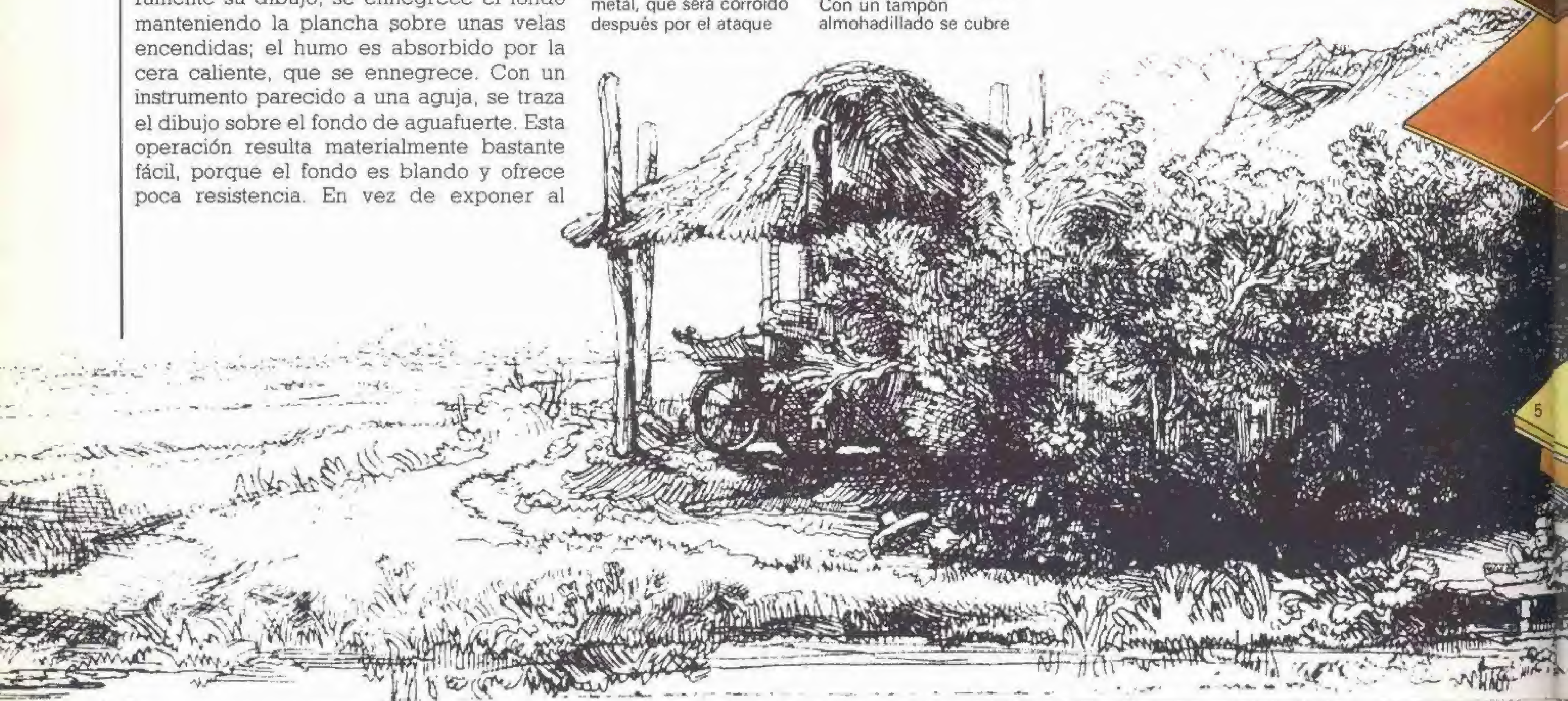
El *aguafuerte* y el *grabado* son dos técnicas artísticas que tienen mucho en común con el dibujo y la pintura. Una diferencia entre unos y otros estriba en que el dibujo y la pintura se caracterizan por ser obras únicas y originales, mientras que los grabados y aguafuertes son obras que se producen en serie.

Grabado El grabado puede definirse en general como el dibujo o "escritura" sobre una superficie cualquiera, mediante líneas incisas o grabadas sobre dicha superficie o plancha. En vez de lápiz, el grabador utiliza un instrumento afilado llamado *buril*. La plancha suele recubrirse superficialmente mediante una capa de un metal blando, generalmente cobre. Cuando el artista ha terminado de trazar el dibujo, derrama tinta sobre la plancha y después la limpia para que la tinta quede impregnando sólo las líneas trazadas con el buril. A continuación, se presiona una hoja de papel sobre la superficie de la plancha, de forma que el dibujo quede impreso en ella. Este proceso se puede repetir muchas veces en distintas hojas de papel, añadiendo tinta cuando sea necesario.

Aguafuerte En esta técnica el dibujo "corroe" la plancha gracias a un ácido fuerte. Para ello, el artista prepara la plancha con un *fondo de aguafuerte*, resistente al ácido, compuesto esencialmente por cera, goma arábiga y resina. Esta masa se suele envolver en forma de bola sólida en una tela de seda. Cuando se calienta la plancha, la cera se funde y se derrama sobre ella, filtrándose lentamente a través de la seda. A continuación se extiende esa capa con un alisador, que puede ser una almohadilla de seda o de piel de cabrito. Para evitar posibles reflejos de la superficie, que podrían impedir al artista ver claramente su dibujo, se ennegrece el fondo manteniendo la plancha sobre unas velas encendidas; el humo es absorbido por la cera caliente, que se ennegrece. Con un instrumento parecido a una aguja, se traza el dibujo sobre el fondo de aguafuerte. Esta operación resulta materialmente bastante fácil, porque el fondo es blando y ofrece poca resistencia. En vez de exponer al



El aguafuerte se estampa a partir de una plancha de metal, que puede ser de cobre, sobre la que se graba determinado dibujo. El artista, en primer lugar, prepara una plancha de las dimensiones deseadas (1) y extiende sobre ella un material capaz de resistir la acción del ácido. Ese material suele ser una pasta de cera y resina, generalmente colofonia (pez griega). La cera se extiende al fundirse por el calor, que actúa sobre la masa envuelta en una tela. Cuando se tiene ya la plancha cubierta por una capa uniforme de cera (2), se graban con una punta metálica o un buril las líneas que constituirán el dibujo. En esta operación se debe limitar la profundidad de la incisión a la capa protectora, sin llegar al metal, que será corroído después por el ataque químico de un ácido; éste (3) se derrama hasta que cubre totalmente la plancha. La operación se completa sumergiendo la plancha en el baño de ácido. Pasando por encima de la superficie una pluma, se consigue una corrosión uniforme que respeta la profundidad de incisión realizada por el artista. Luego, se elimina la capa protectora de cera de la plancha (4), y ya se puede proceder a la impresión. Con un tampón almohadillado se cubre



ataque del ácido lo que está más bajo que la superficie del metal, como en la técnica del grabado donde son los surcos los que quedan expuestos, aquí el artista expone sin más toda la superficie de metal que está debajo del fondo. Cuando ha terminado el dibujo, sumerge la plancha en un baño de ácido. Sólo las zonas de metal que han quedado expuestas son atacadas por dicho ácido. El resultado es muy parecido al del *grabado al buril* o de la *punta seca*, pero con esta técnica los resultados son bastante imprevisibles; por ello se emplea sobre todo cuando el artista quiere obtener una imagen de apariencia más espontánea. Si quiere variar la profundidad de las líneas incisas, puede sumergir de nuevo la plancha en el ácido, habiendo protegido previamente con un nuevo fondo las zonas que no desea que se corroan más.

El artista puede conseguir una mayor finura de los difuminados utilizando un método conocido por *aguafuerte sobre fondo levantado*, técnica que a Picasso le gustaba mucho emplear para sus grabados.

El *aguafuerte sobre fondo blando* se desarrolló en el siglo XVIII para reproducir las texturas de los pasteles, tizas y lápices. En este caso el artista utiliza un fondo más blando que el del aguafuerte tradicional. Después cubre la plancha con tela o papel y traza el dibujo sobre esta cubierta, y no directamente sobre la superficie del fondo. Puede también presionar fuertemente el papel o la tela contra el fondo antes del baño con el ácido para hacer que se marque la trama de los mismos en la plancha, obtener efectos de fondo y destacar la calidad difusa de los trazos. Renoir prefería emplear esta técnica, por lo que sus mejores aguafuertes son casi indistinguibles de sus dibujos.

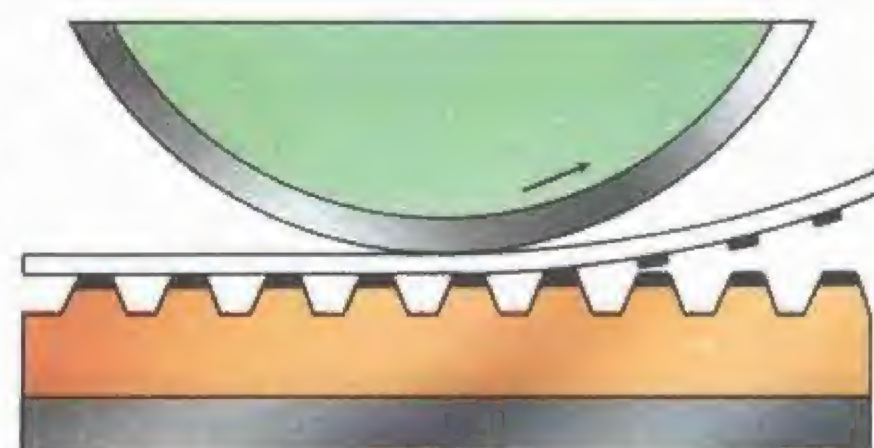
Grabados y aguafuertes originales La estrecha asociación que se ha establecido tradicionalmente entre grabadores y pintores ha llevado a no calificar al grabado y al aguafuerte como técnicas originales, sobre todo porque a partir del siglo XVI estas técnicas se aplicaron solamente para copiar obras de arte ya existentes.

El predominio del calificativo de pintor sobre el de grabador presenta sin embargo algunas notabilísimas excepciones. En efecto: Durero, Rembrandt y Goya realizaron algunas de sus mejores obras originales no con dibujos o pinturas sino con grabados y aguafuertes. Durero fue el primer retratista que hizo grabados de los personajes famosos de su época. Su *Erasmo de Rotterdam* es probablemente su retrato más conocido, y está hecho con la técnica del grabado. La serie sobre planchas de cobre que representa el tema de la *Pasión* (1507-1513), y los conocidos como el *Caballero*, la *Muerte y* el *Demonio* (1513), *San Jerónimo* y *Melancolía* (1514) son también ejemplos famosos de sus grabados.

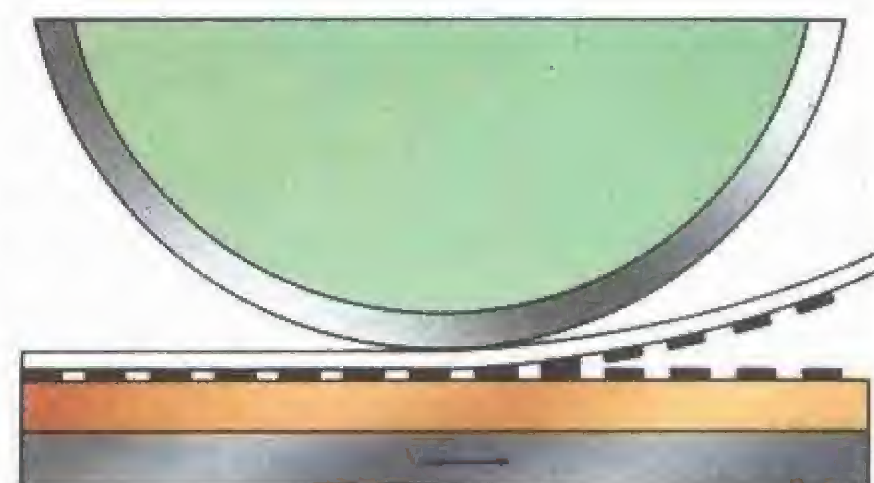
Rembrandt fue el primer y quizás más importante artista que realizó aguafuertes. Con la aguja de los aguafuertes conseguía una sorprendente expresividad en los rostros. Goya utilizó estas técnicas para realizar cuatro series —los *Caprichos*, los *Desastres de la guerra*, los *Disparates* y la *Tauromaquia*— que se encuentran entre sus obras más expresivas. Picasso aprovechó la precisión del grabado para sus grabados cubistas y para las sucesivas recreaciones de temas clásicos. También Matisse, Chagall, Rouault y Lasansky han hecho contribuciones originales al grabado y al aguafuerte.



de tinta la superficie y se quita lo que sobra para que sólo quede tinta en los surcos mordidos por el ácido. Finalmente (5), se coloca encima la hoja de papel y se presiona haciendo pasar un rodillo, para que la tinta de los surcos imprima sobre ella el dibujo.

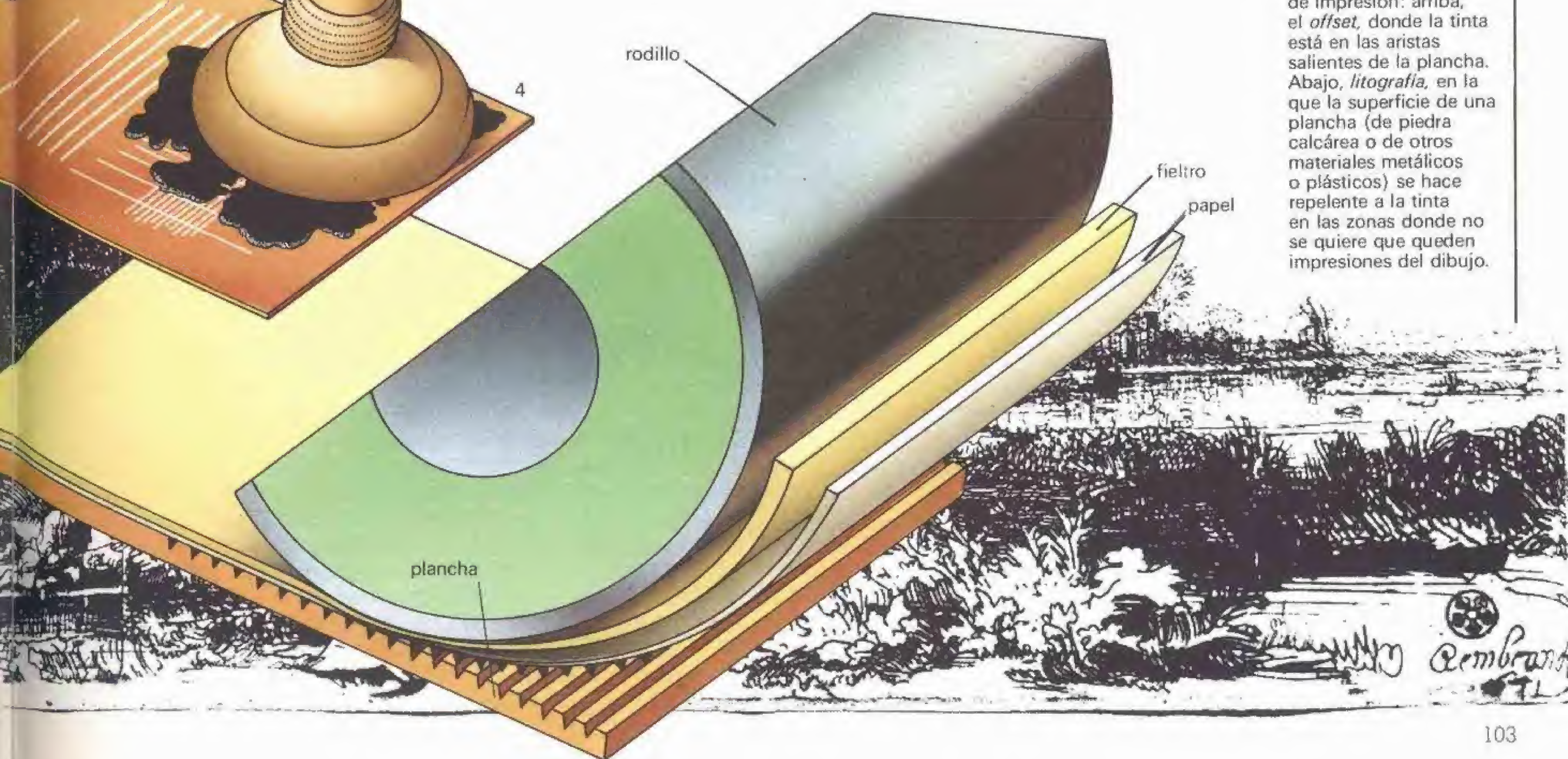


impresión en offset

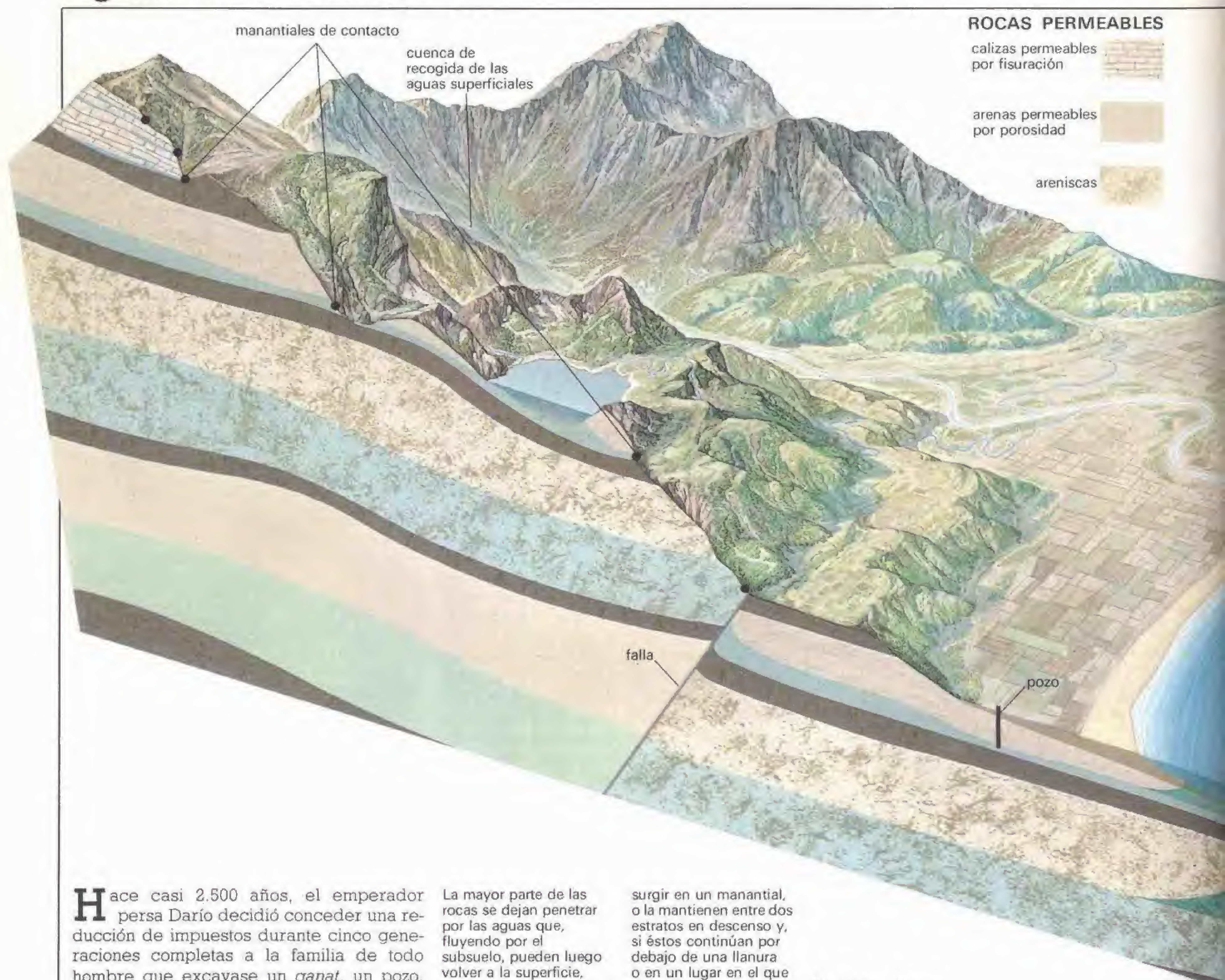


impresión litográfica

Otros dos métodos de impresión: arriba, el *offset*, donde la tinta está en las aristas salientes de la plancha. Abajo, *litografía*, en la que la superficie de una plancha (de piedra calcárea o de otros materiales metálicos o plásticos) se hace repelente a la tinta en las zonas donde no se quiere que queden impresiones del dibujo.



Aguas subterráneas



La mayor parte de las rocas se dejan penetrar por las aguas que, fluyendo por el subsuelo, pueden luego volver a la superficie, desembocar en el mar o formar bolsas. En el descenso hacia el subsuelo, las rocas impermeables limitan el movimiento del agua y pueden obligarla, por ejemplo, a volver a surgir en un manantial, o la mantienen entre dos estratos en descenso y, si éstos continúan por debajo de una llanura o en un lugar en el que el hombre puede hacer una perforación, se origina una subida de agua a presión, es decir, un *pozo artesiano*. También una falla puede permitir la subida del agua. Por último, el agua puede alcanzar el subsuelo de una llanura y almacenarse, con un movimiento muy lento en una capa, de la que se sacará a través de pozos, mediante bombeo, o también puede encontrar un camino hasta el mar, donde desembocará en un manantial submarino.

Hace casi 2.500 años, el emperador persa Darío decidió conceder una reducción de impuestos durante cinco generaciones completas a la familia de todo hombre que excavase un *qanat*, un pozo, cerca de la ciudad de Teherán. Aunque la reducción fuese grande e incidiese fuertemente sobre el presupuesto, Darío se mostró bastante previsor. Sabía que los pozos abastecerían abundantemente a la ciudad de agua fresca y limpia durante cientos de años. Y efectivamente así ha sido; todo el aporte hídrico de Teherán procedía hasta 1930 de una docena de grandes *qanat*, que podían suministrar hasta 1.000 litros de agua por habitante/día.

Aunque anecdótico, este es un buen ejemplo del importante papel que han desempeñado —y aún hoy desempeñan— las aguas subterráneas. Baste decir que casi el 90% del agua dulce terrestre permanece oculta, impregnando el suelo y las rocas, fluyendo o embalsada en ríos y lagos subterráneos.

El agua de lluvia y de riego penetra en el suelo a través de poros y fisuras hasta que encuentra un estrato impermeable sobre el cual corre o se estanca, formando una *capa hídrica*. Cuando esta capa no tiene por encima un estrato impermeable, sino que este nivel superior es libre o permeable, toma el nombre de *capa freática* o *manto freático*, cuya superficie superior dista una determinada longitud de la superficie libre del suelo, distancia que se denomina *nivel freático*. Los pozos ordinarios son perforaciones hasta esa capa freática de la cual extraen el agua. Por otro lado, cuando el nivel superior del manto freático intersecciona con el suelo (por ejemplo, en laderas de montañas o colinas), se produce una salida de aguas subterráneas al exterior, en forma de manantial, lo que en función de su caudal y del relieve del entorno puede dar lugar a riachuelos, ríos o lagos, de los que tan profusamente se sirve el hombre.

El nivel freático depende en gran medida de las vicisitudes meteorológicas, estando más alto en las épocas de lluvias y deshielo como consecuencia del mayor aporte de agua al subsuelo, y disminuyendo en períodos fríos y de sequía. La zona afectada por estos cambios de nivel se denomina *zona de oscilación*, y el intervalo de tiempo que transcurre entre una disminución de nivel y la subsiguiente elevación forma un *ciclo freático*. La relación entre el ciclo freático y el régimen de los ríos es de gran importancia. Cuando el nivel superficial del río es inferior al nivel freático, el cauce fluvial actúa como un canal de avenamien-

ROCAS IMPERMEABLES

arcillas

AGUAS

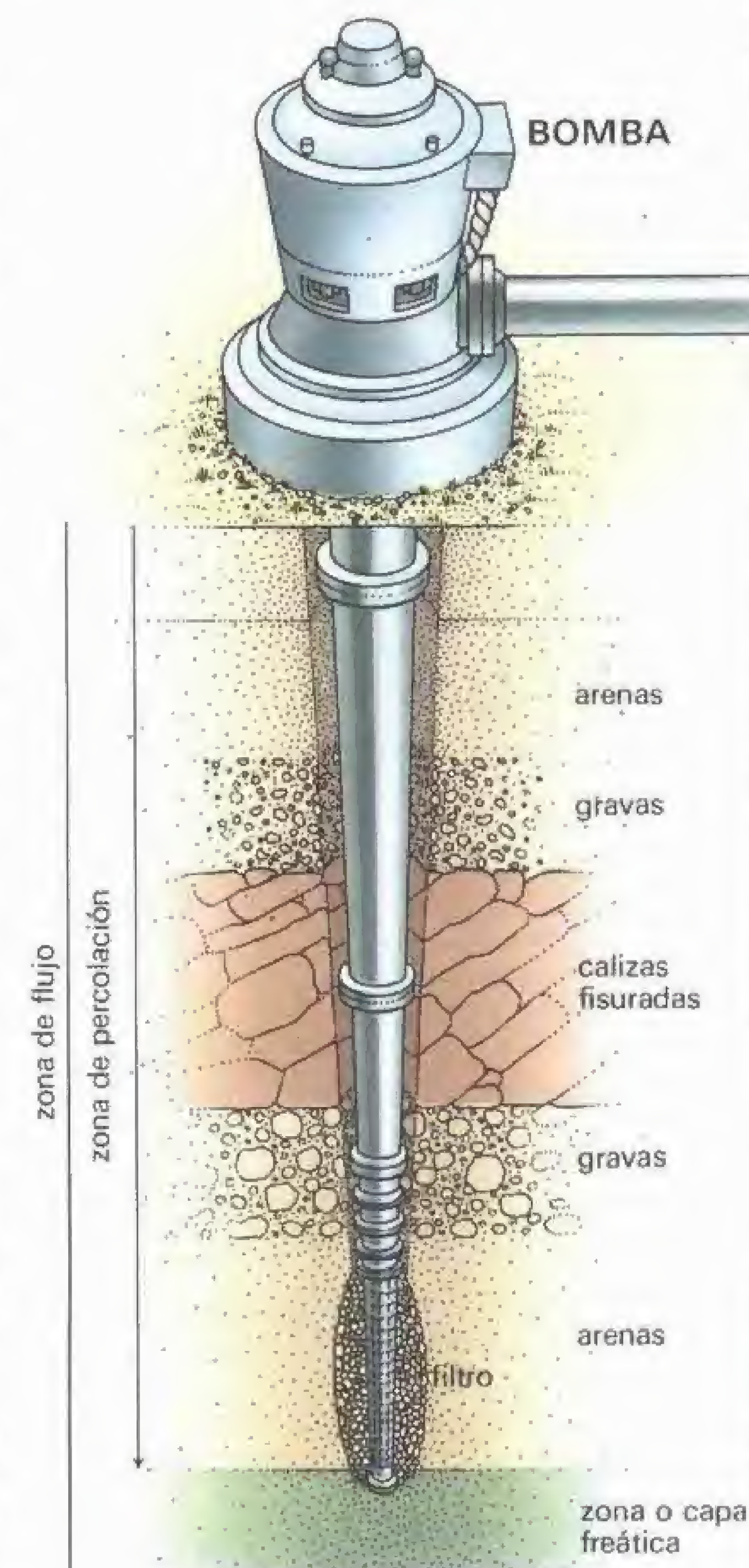
agua de capa (dulce)

infiltraciones en cuña de agua salada

● manantiales



La gran necesidad de agua de las poblaciones no se puede satisfacer aprovechando el agua que brota de forma espontánea en la superficie o por medio de manantiales o de pozos artesianos. Aún hoy muchas poblaciones primitivas extraen a mano el agua de los pozos que han excavado. El método más corriente de hacer subir el agua es el bombeo. Con una bomba eléctrica es posible elevar grandes cantidades de agua en poco tiempo, pero el pozo tiene que haber sido preparado adecuadamente para esta operación. Normalmente, los pozos en los que el agua asciende por medio de una bomba eléctrica han sido construidos mediante perforación y su diámetro es muy pequeño. Se intenta alcanzar el agua en aquellos puntos en los que ésta impregna un estrato de grava o donde la roca tiene grandes fracturas, puesto que en ellos la bomba podrá recoger agua que puede volver a fluir rápidamente hacia la parte aspiradora del mecanismo. De otro modo, la bomba aspiraría en rocas de las que se extrae el agua más rápidamente de lo que puede ser reemplazada por la capa circundante. Por último, es necesario recordar que una bomba no puede aspirar a más de diez metros de profundidad; si el agua se recoge a profundidades mayores, la bomba tendrá que ser sumergida en la capa y funcionar de manera que empuje y no que aspire el agua.



to; si, por el contrario, el nivel freático es inferior al del río, la capa freática se alimenta del agua exterior en los períodos de crecida del río y la restituye al cauce en épocas de sequía.

En las zonas costeras, donde entran en contacto el agua dulce subterránea con el agua del mar, la menor densidad de la primera le permite situarse por encima de la salada hasta una cierta profundidad, a partir de la cual comienza la zona de mezcla. Por eso, cualquier pozo poco profundo excavado en una zona litoral manará agua dulce; pero si la extracción se realiza de forma abusiva y constante, sin respetar los ritmos de recuperación, la zona de mezcla ascenderá progresivamente hasta inundar el pozo con agua salada. Este fenómeno se conoce como *intrusión salina*. Un ejemplo lo constituye la pequeña isla de Malta, situada al sur de Sicilia, en el mar Mediterráneo. Malta no posee grandes lagos o depósitos naturales de agua, pero, afortunadamente, gran parte de la isla rocosa es una capa acuífera que almacena y filtra el agua de lluvia. Durante miles de años los malteses han obtenido el agua extrayéndola de los pozos excavados en el interior de la roca. Hoy se teme que la actual población de la isla, 300.000 personas, necesite una cantidad de agua superior a la que pueden suministrar las capas acuíferas. Al extraer demasiada agua se está forzando a las capas a absorber agua marina, mientras que, en el pasado, las aguas freáticas, corriendo abundantemente hacia el mar y por tanto con la presión necesaria, alejaban de las zonas de extracción el agua salada. Este mismo fenómeno se produce también en la actualidad en algunas capas acuíferas de las islas Canarias.

La profundidad de la capa freática no supera casi nunca los veinte metros; sin embargo, cuando se trata de rocas permeables de gran espesor puede alcanzar varios centenares de metros. La salida del agua a la superficie se hace generalmente de forma natural (a través de las plantas, por evaporación, manantiales, fuentes, etc.), pero una parte es extraída directamente por el hombre a través de pozos, aprovechando la escasa profundidad a la que, en ocasiones, se encuentra el nivel freático. Incluso, cuando la capa freática se encuentra debajo de un estrato de roca también impermeable, la presión hidrostática impulsa de forma natural el agua hacia la superficie, haciendo innecesario cualquier medio mecánico de extracción. Se habla entonces de *pozos artesianos*. En la zona de transición de una altiplanicie a una llanura inferior puede producirse el resurgimiento de aguas infiltradas en la altiplanicie, dando lugar a una *zona de manantiales* en la que el agua puede brotar de forma natural o artificial y a veces con un caudal considerable.

La prospección de agua El agua es uno de los más antiguos objetos de las prospecciones. Abandonados los métodos mágicos o semimágicos que se utilizaban antiguamente, la técnica de la prospección se ha desarrollado acorde con los progresos técnicos de nuestro tiempo. Los métodos empleados abarcan un análisis geográfico y geológico de la zona, la medida de variaciones en las propiedades del terreno que puedan ser atribuidas a la presencia del agua, y la medida de la conductividad eléctrica del suelo. Desde siempre las capas acuíferas han sido una fuente segura de agua potable para el hombre; el aumento de la población hace que sea necesaria su protección, ya que es una fuente de recursos naturales imprescindible para la vida.

Veáse **Agua; Agua mineral; Agua, ciclo del; Agua, potabilización del; Grutas y cavernas**

Agujero negro

La ciencia astronómica ha determinado ya con certeza que una estrella, al final de su vida, pierde su energía y se hunde sobre sí misma; se trata de un cuerpo sorprendentemente denso y relativamente frío, pero que podemos ver: es una *estrella enana blanca*. Pero si la masa es suficiente para que se repita el fenómeno, sobreviene un derrumbamiento incomparablemente más catastrófico: los electrones quedan materialmente incrustados en los núcleos atómicos, con lo que se forman neutrones. Para que puedan soportar el peso de la estrella deben estar casi en contacto unos con otros: se llega así a un estadio casi inconcebible, el de una *estrella de neutrones*. Esta estrella ya no emite luz ni calor: es una estrella muerta que, sin embargo, conserva su campo magnético, el cual, precisamente por efecto de la contracción experimentada, alcanza valores elevadísimos. Gracias a las emisiones de este campo magnético se puede localizar a estas estrellas de neutrones, de las que se conocen ya varios centenares. Por regla general, sus emisiones son intermitentes y perfectamente periódicas. Algunos períodos se acercan a los cuatro segundos: pero, en la mayoría de los casos, son de sólo una fracción de segundo. Cuando se descubrieron estas emisiones intermitentes, se pensó en señales emitidas por seres inteligentes extraterrestres, tan perfecta era su regularidad, y se las llamó *pulsares*. Se formularon las más diversas teorías de los pulsares, que fueron, desde 1968 hasta 1975, uno de los grandes misterios del Cosmos. Hoy se asocia a los pulsares con las estrellas de neutrones, suponiéndose que son las únicas radiaciones que estos cuerpos superdensos pueden emitir. La razón del corto período de estas pulsaciones se debería a que las estrellas de neutrones, por efecto de su propia contracción, giran sobre sí mismas con una rapidez impresionante: ¡algunas en tres centésimas de segundo!, o de otro modo, dan treinta vueltas cada segundo.

Pero hay todavía más, por increíble que parezca. En teoría se admite que, para determinadas masas y presiones, los neutrones pueden a su vez colapsar y quedar materialmente triturados. La materia queda entonces de tal modo comprimida que puede alcanzar una densidad similar a varios cientos de miles de millones de toneladas por centímetro cúbico: estamos ante un *agujero negro*.

El campo gravitatorio de un agujero negro es tan fuerte, que retiene todo y no deja salir nada: por tanto, un objeto de esta clase no puede dar muestras de su existencia. En sentido contrario, atrae a cuanto se acerca a él, y se lo traga: es como un inconcebible sumidero espacial que implacablemente va sorbiendo cuanto tiene a su alrededor. El tiempo carece de sentido en un agujero negro; y en cuanto al espacio —concebido como espacio relativista—, experimenta, por efecto gravitatorio, una brutal distorsión. En este sentido, se puede hablar de "agujero" con cierta propiedad: es como un agujero abierto en un espacio de cuatro dimensiones.

Ya en 1926, el astrónomo inglés R. H. Fowler dijo que si una estrella consume todo el "combustible" que la hace resplandecer y las fuerzas desarrolladas por las reacciones nucleares llegan a faltar, la intensa atracción gravitatoria de su núcleo determina el colapso. Las conclusiones de Fowler sobre las estrellas colapsadas constituían una elaboración basada en consideraciones hechas en 1916 por Albert Einstein en su *Teoría general de la Relatividad*. El desarrollo que se ha seguido a consecuencia de ello, y que ha llevado a una larga serie de estudios y a *la hipótesis de los agujeros negros*, forma parte de lo que puede llamarse la leyenda de la moderna Astrofísica.

En 1930, un joven hindú recién diplomado, llamado Subrahamanyan Chandrasekhar (conocido por *Chandra*), zarpó de la India a bordo de una nave para realizar un viaje alrededor del mundo que le conduciría finalmente a Inglaterra, donde iba a iniciar sus estudios de especialización en la Universidad de Cambridge, precisamente con Fowler (ambos compartirían algunos años más tarde, concretamente en 1983, el premio Nobel de Física). Durante el viaje se dedicó a realizar cálculos tendentes a determinar hasta dónde podía conducir el colapso gravitatorio intuido por Fowler. Se preguntaba si era posible que la estrella, en su colapso, superase la etapa de *enana blanca* para dar lugar a un cuerpo celeste aún más denso.

El joven Chandrasekhar —que por entonces tenía 19 años— dedujo que era posible. Sus cálculos le llevaron hasta un punto en el que las conclusiones que se podían deducir eran tan extraordinarias que, prudentemente, sólo expuso una parte en el trabajo que publicó en la revista *The Observatory Magazine* de octubre de 1934, en el que decía que "una estrella de gran



La imagen superior muestra la secuencia de fenómenos que se producen cuando una estrella de gran masa experimenta un colapso que la lleva a convertirse en un *agujero negro*. Se describen únicamente las etapas que implican más directamente al núcleo de la estrella. La zona periférica explota y se difunde en el espacio circundante con fenómenos muy vistosos. El colapso comienza (A) al agotarse todos los posibles "combustibles" nucleares del núcleo de la estrella, que ya no produce calor. En una primera etapa la estrella que se contrae (B) experimenta un calentamiento superficial y aparece más luminosa. En esta fase el colapso produce ondas de choque en el interior de la masa y una parte de la materia estelar es lanzada al espacio. En (C), el núcleo es cada vez más pequeño, hasta que, llegando a (D), es necesario cambiar de escala. Ahora la contracción del astro es tan fuerte y su tamaño ha disminuido de tal manera, que la gravedad en su superficie es enorme y se ponen de manifiesto fenómenos descritos en la *Teoría general de la Relatividad*, como el corrimiento hacia el rojo (*efecto Einstein*) de la radiación y una fuerte curvatura hacia el astro de la radiación que sale de la superficie en forma oblicua. En las etapas sucesivas el astro acaba convirtiéndose finalmente en un agujero negro.

masa no puede evolucionar pasando a través de la fase de enana blanca, y uno se ve, pues, llevado a especular sobre otras posibilidades".

Las conclusiones de *Chandra* no fueron bien acogidas por muchos notables astrónomos. El *Astrophysical Journal* —que más tarde dirigiría durante veinte años— refutó su trabajo, a lo que se unieron muchos astrónomos que le atacaron duramente. Incluso su amigo Edward A. Milne, profesor de matemáticas en Oxford, le escribió: "Para mí es evidente que la materia no puede comportarse del modo previsto por ti". El famoso astrónomo sir Arthur Eddington expresó su parecer en un pasaje histórico: "Chandrasekhar —dijo— demuestra que una estrella de masa superior a un determinado límite (...) continúa irradiando y contrayéndose hasta alcanzar, supongo, un radio de pocos kilómetros, es decir, cuando la gravedad llega a ser bastante intensa como para retener la radiación y la estrella encuentra al fin su paz. Una idea de tal género —continuó— es casi una *reducción al absurdo* (es decir, una idea cuyas premisas, si se desarrollan según la lógica, conducen a un absurdo). Pienso que debe existir una ley capaz de impedir a una estrella comportarse de tan absurdo modo".

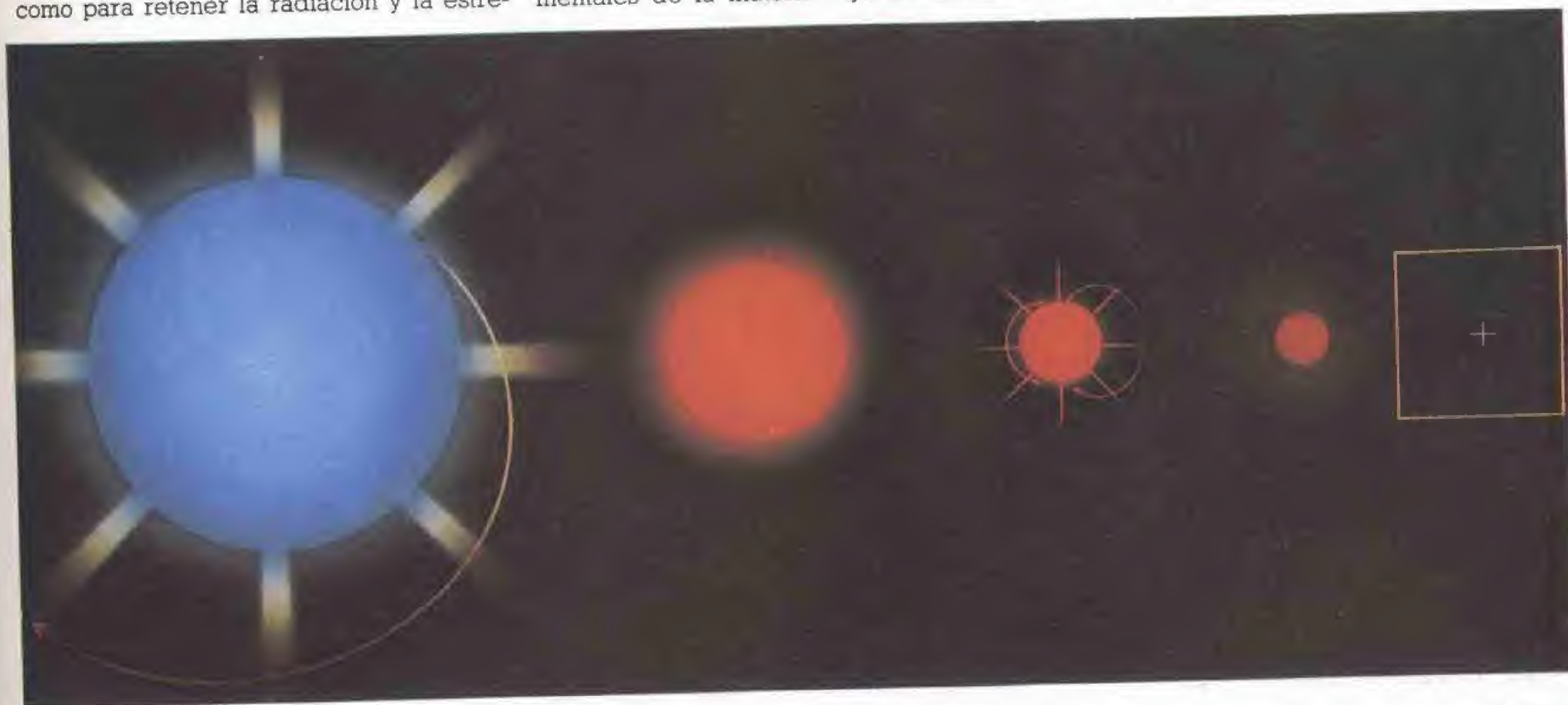
Al pasar los años, los astrónomos comenzaron a aceptar los principios fundamentales de la teoría de *Chandra*. Al final de los años treinta, J. R. Oppenheimer se preguntó si las fuerzas gravitatorias implicadas en el colapso de una estrella podrían llegar a ser tan intensas como para vencer las fuerzas naturales de repulsión que separan los electrones y los protones en el interior de la estructura atómica; y si después de que electrones y protones se hubieren fundido, dando lugar a una *estrella de neutrones*, estos últimos podían experimentar una completa trituración, formando un tipo de materia increíblemente densa y con una masa tal que una pequeña cantidad de ella tuviese la enorme densidad antedicha. Oppenheimer demostró que nada en la teoría de Einstein contradecía tal planteamiento.

Los estudiosos de temas astronómicos han imaginado lo que puede suceder en el interior de un agujero negro (nombre que le fue dado por el astrofísico estadounidense John A. Wheeler). Para empezar, durante el colapso de una estrella de grandes dimensiones, la mayor parte de las leyes físicas comúnmente aceptadas que gobiernan el comportamiento de la materia parecen transformarse en lo que se denomina una *singularidad* (un término tomado de las matemáticas), lo que equivale a decir que se trata de un fenómeno que presenta características únicas. Cuanto menor se hace la estrella, mayor es su densidad (y, por tanto, la fuerza gravitatoria), y cuanto mayor es su densidad, mayor su contracción, hasta un diámetro de algunos kilómetros o incluso menos (*enanas blancas*). Moléculas, átomos, electrones y protones —los ladrillos fundamentales de la materia— ya no existirán, desde el momento en que las moléculas se escindirán en átomos, los átomos se desharán en electrones y protones, y estos se fundirán anulando recíprocamente sus propias cargas, dando lugar a neutrones (*estrella de neutrones*), que, al fin, se triturarán a su vez hasta el límite teórico de una masa infinita contenida en un volumen infinitesimal (*agujero negro*).

En una situación de tal género —afirman los astrofísicos—, el tiempo se dilatará hasta que una fracción de segundo dure, en teoría, hasta el infinito (experimentos realizados con dos relojes atómicos —uno a bordo de un *jet* en vuelo alrededor de la Tierra y el otro en la Tierra— han demostrado la hipótesis de Einstein, hasta entonces discutida, de que la velocidad y otros factores pueden modificar el transcurso del tiempo). Ningún tipo de radiación, incluida la luz, que está ligada a la gravedad, escapará de la gravedad total del agujero negro, por lo que, en realidad, un agujero negro no puede ser visto. Sin embargo, se han observado algunos fenómenos que pueden ser indicios de la existencia de un agujero negro: una estrella roja supergigante en la constelación del Cisne, de masa al menos veinte veces superior a la de nuestro Sol, oscila de modo irregular en el espacio como si fuera perturbada por la fuerza de gravedad de una compañera invisible con masa igual a tres veces la del Sol; en la constelación del Compás, visible en el hemisferio austral, los astrónomos australianos han observado una estrella roja poco luminosa que se comporta como si se encontrase bajo la influencia de alguna compañera invisible que ejerciese sobre ella una intensísima atracción gravitatoria.

Esos fenómenos, aun aceptando que la luz no puede escapar de un agujero negro, y por ello semejante cuerpo celeste no puede ser visto jamás, han alentado a muchos astrónomos a esperar que pronto un agujero negro sea definitivamente reconocido a partir de sus efectos sobre una estrella vecina o sobre otro cuerpo celeste. Si ese cuerpo celeste entrase en el radio de acción de nuestros telescopios, los astrónomos podrían ser testigos del drama cósmico de un cuerpo celeste absorbido por un agujero negro, donde, según la hipótesis, sería transformado en unos segundos en una masa de varios millones de toneladas por centímetro cúbico. Algunos astrofísicos aventuran que ese podría ser el destino final de todos los cuerpos celestes existentes. Es más, se ha llegado a lucubrar que a través de un agujero negro puede llegarse a otro espacio, a otro Universo.

Pero este y otros muchos fenómenos están aún sin explicar. Las experiencias actuales, basadas en métodos, técnicas e instrumentos cada vez más perfeccionados, permiten asegurar que en las próximas décadas se producirán importantes avances en el campo de la Astrofísica.



Véase **Astrofísica; Atomo; Diagrama de Hertzprung-Russel; Electromagnetismo; Relatividad, Teoría general de la**





Una estrella pierde masa en favor de un agujero negro con el que está ligada por la atracción. La materia, principalmente viento estelar, sale de la estrella y cae en espiral en el agujero negro. Al caer, se concentra y se hace más caliente y luminosa. Este es un modo de hacerse visible, pero sólo con luz proveniente del exterior de su cuerpo. A la izquierda, el centro de una galaxia doble. Si existe un agujero negro, tiene la posibilidad de engullir estrellas, que atraviesan el núcleo mismo con movimientos desordenados. Arriba, materia gaseosa que cae en un agujero negro. En la caída, todas sus partículas descienden verticalmente hacia el centro del agujero negro; por consiguiente, las trayectorias son convergentes y la materia se condensa y se calienta. La temperatura alcanzada hace que el gas sea conductor eléctrico, lo que complica su movimiento. Se emiten radiaciones visibles, radioondas y rayos X.

FASES DE LA FORMACION DE UN AGUJERO NEGRO
(con un modelo elastomecánico)



A
Una masa pesada se aproxima a una membrana elástica.



B
La masa se apoya sobre la membrana y la deforma.



C
La deformación continúa y se acrecienta.



D
La masa ha descendido bajo el plano de la membrana.



E
La membrana se retrae y aisla la masa pesada.



F
La masa está totalmente aislada del plano.

Aislantes térmicos

Las fuentes de energía tradicionales se están agotando y la energía que consuminos resulta cada vez más costosa; de ahí el interés creciente por evitar su despilfarro y potenciar su uso de forma más racional.

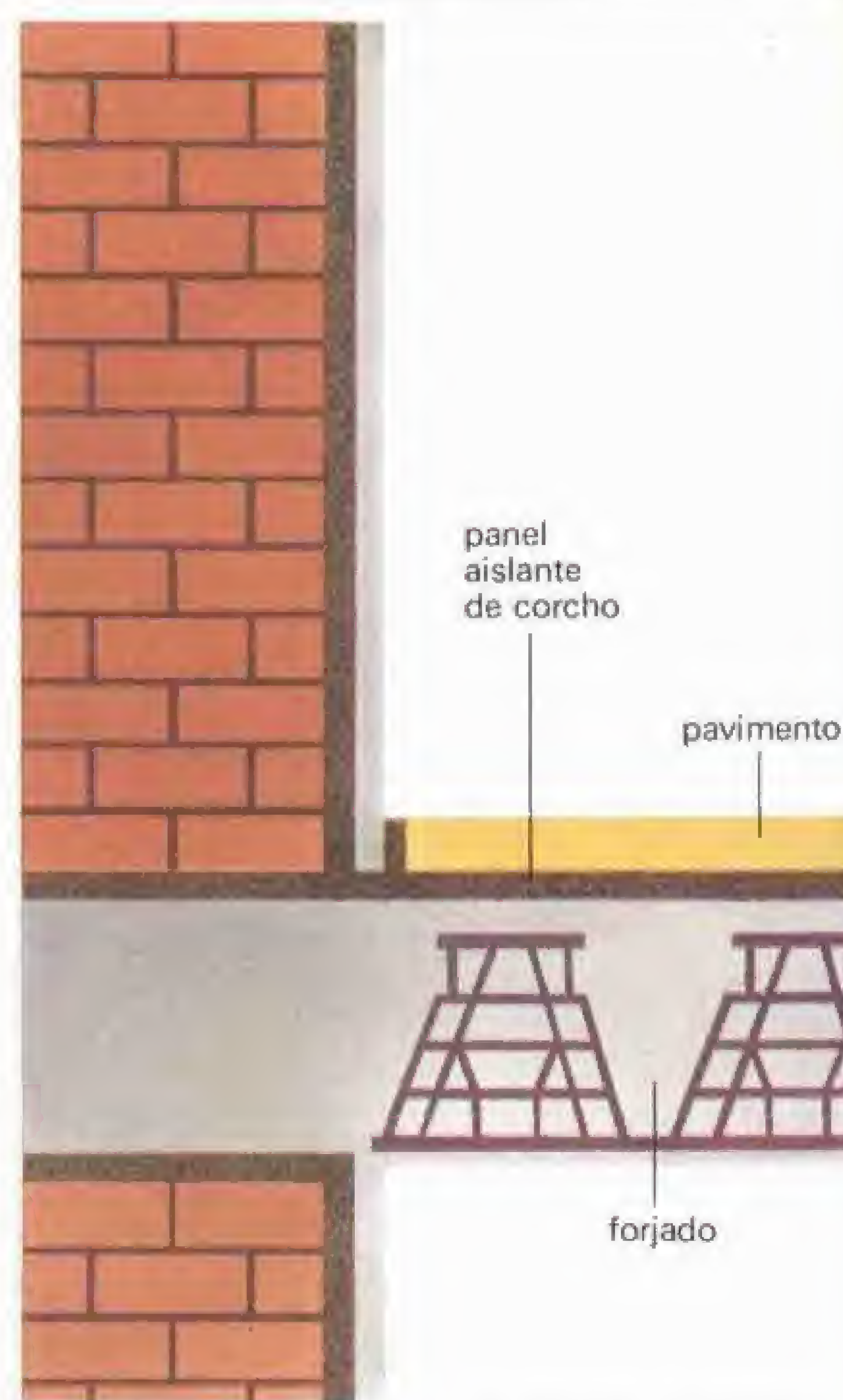
Uno de los métodos para ahorrar energía de calefacción y de refrigeración en los edificios consiste en mejorar su aislamiento. Conservar el calor dentro o fuera de un edificio, según las exigencias de la estación, por medio de un buen aislamiento, permite mantenerlo a una temperatura determinada consumiendo menos energía.

Cómo funciona el aislamiento Existe una gran variedad de materiales adaptados para el aislamiento, pero a menudo se ignora que uno de los mejores aislantes es el *aire*. En un recinto amplio, el aire transmite el calor de unas zonas a otras; esto ocurre porque el aire más cercano a la superficie calentada asciende, generando movimientos de aire llamados *corrientes de convección*, que transportan el calor a las zonas más frías.

Muchos materiales aislantes tienen gran cantidad de espacios llenos de aire, pero estos son lo suficientemente pequeños como para no permitir la formación de corrientes de convección. Normalmente, los materiales aislantes están compuestos por fibras finas o por pequeños granitos o bolitas de una sustancia esponjosa. Estos elementos simples de material aislante están rodeados de pequeñas cantidades de aire en las que no se producen corrientes convectivas y que impiden la conducción de calor por contacto.

Ejemplos de materiales aislantes Algunos de los materiales aislantes más comunes son: la fibra de vidrio, fibras de minerales o de materiales orgánicos, espumas plásticas, partículas de corcho, materiales pulverulentos compuestos de varios minerales (como yeso hidratado, silicagel, mica, etc.), y muchos otros que se usan con diversas formas dependiendo de las exigencias. Por ejemplo, suelen colocarse capas de aislante fibroso entre las tablas de madera en las casas durante su construcción. Se puede introducir o bombear material en polvo o en espuma en las cámaras de aire de los muros en las casas acabadas. El aislamiento para los tubos se prepara en secciones prefabricadas, que se disponen alrededor de los tubos y se cierran con bandas adhesivas. Como los materiales aislantes contienen gran cantidad de aire, tienden a ser ligeros y no muy resistentes. De hecho, ni siquiera los materiales aislantes rígidos pueden soportar cargas pesadas. En los casos en que se requiere una mayor resistencia, como por ejemplo en el suelo de los hornos, se pueden usar ladrillos de arcilla especial.

Algunos problemas del aislamiento Existen algunos problemas relacionados con los materiales aislantes. Ciertos materiales son perjudiciales para la salud. Las partículas microscópicas de las fibras de amianto, por ejemplo, pueden ser muy peligrosas si se respiran, y su uso se ha reducido al límite. Otros materiales aislantes, como las espumas plásticas, despiden gases venenosos cuando se queman. Por ello, las leyes que regulan la construcción



El corcho natural es un material ligero y poroso, muy apto para formar estratos aislantes tanto del calor como del sonido. Arriba vemos la capa que se sitúa bajo el pavimento y dentro de las paredes con el fin de disminuir la transmisión térmica y de ruidos.

Se trata de un material ligerísimo que no aumenta el peso de la construcción. Abajo, un panel modular que sirve para conseguir los mismos efectos que el corcho, realizado con lana de roca y guata de celulosa montadas sobre yeso agujereado.



obligan a que estos materiales estén protegidos.

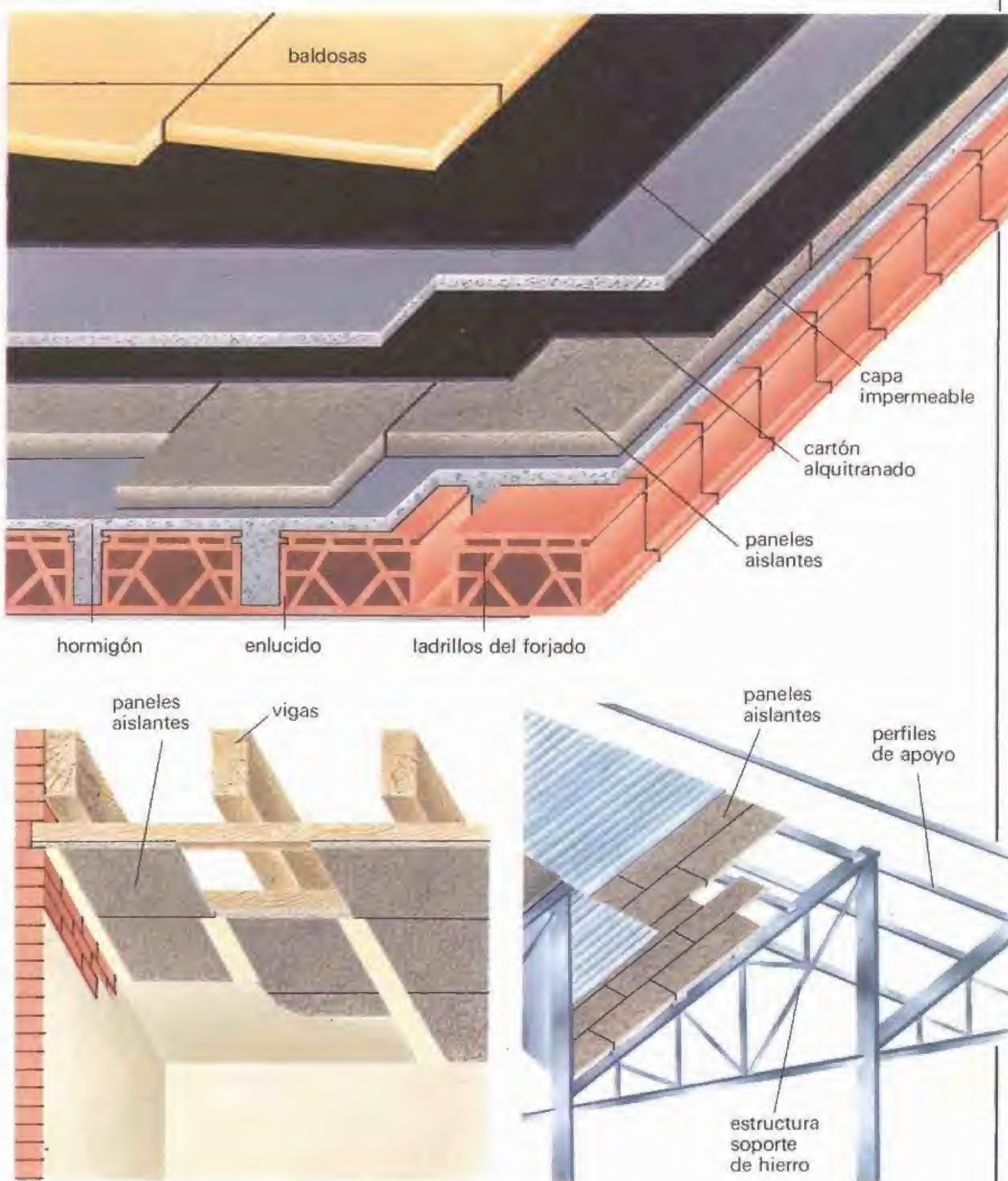
Otro problema que presentan tales materiales es que al mojarse pierden su capacidad aislante; además, pueden causar daños a la estructura del edificio en que se hallen colocados. Por ello es necesario tomar precauciones especiales para impermeabilizarlos.

¿Cómo se protegen los aislantes de la humedad? Aunque los materiales aislantes impiden la trasmisión del calor, la mayor parte de ellos permiten el paso del vapor de agua. Es conocido que el aire caliente tiene mayor capacidad para contener vapor de agua que el aire frío. Al descender la temperatura y enfriarse puede alcanzar el denominado *punto de rocío*, temperatura a la cual se produce la condensación de parte del vapor de agua que contiene, y se forma el rocío. Si tenemos una pared aislada que separa el aire caliente del aire frío, el vapor de agua pasa del lado caliente al lado frío, pudiendo alcanzar una zona que haga descender su temperatura hasta el punto de rocío. Si esta zona está precisamente en el interior del material aislante, el vapor se condensará en él, humedeciéndolo.

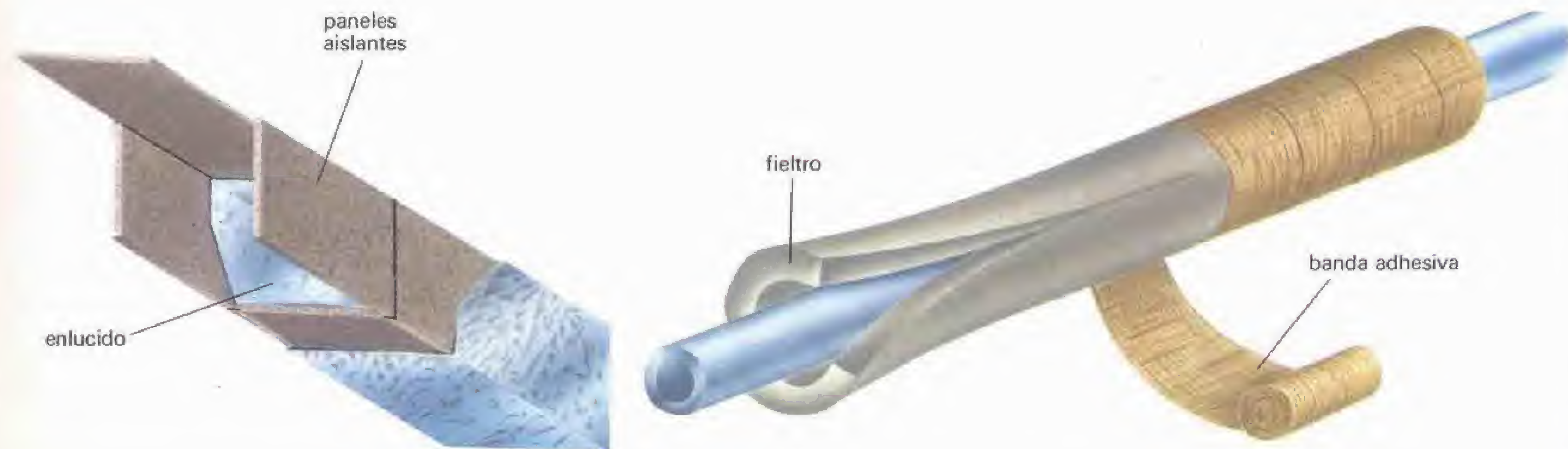
Para impedir que el vapor de agua penetre en el material aislante, el lado caliente del aislamiento se reviste con una barrera antivapor. Una lámina de aluminio, a través de la cual el vapor no penetra, es un buen impermeabilizador. Generalmente va montada sobre un revestimiento que lo protege de posibles agujeros y desgarros accidentales. Esta lámina refleja el calor radiante (las radiaciones de la luz solar) de la superficie aislada, aumentando su eficacia.

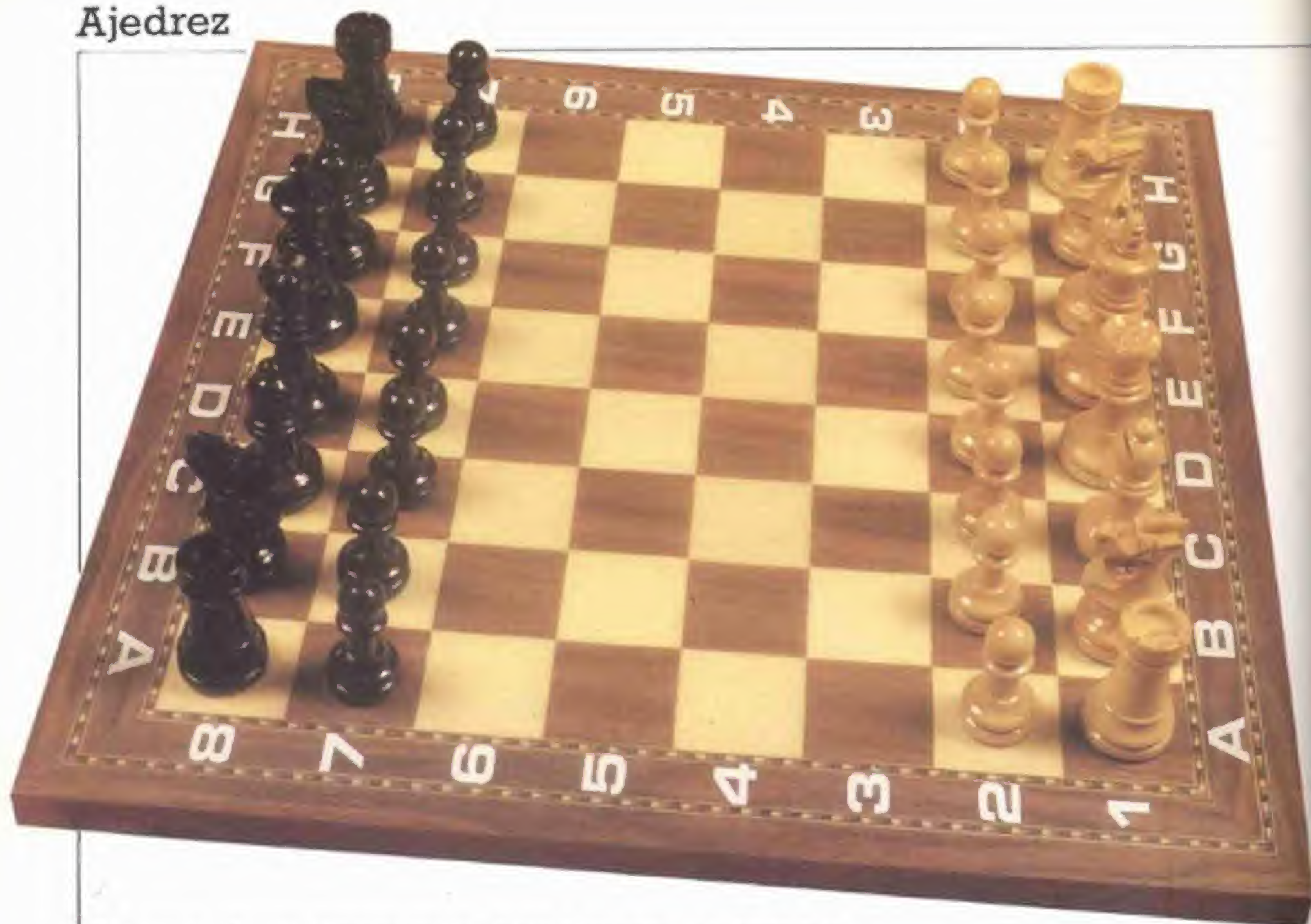
Aunque la instalación de métodos de aislamiento térmico encarece los costes de construcción de edificios, es un hecho que se puede conseguir un gran ahorro energético por medio de un aislamiento eficaz, esto es, impidiendo al aire caliente que asciende transferir su calor a las frías superficies externas en invierno, y manteniendo alejado el calor del sol de las habitaciones con aire acondicionado en el verano.

Véase **Acústica; Calor, transmisión del**



Además de tener una función de aislante térmico y acústico, algunos de estos materiales pueden tener misiones antiincendios: por ejemplo, los paneles de fibras vegetales unidos con una pasta de cemento recogidos arriba. Estos tienen porosidad y flexibilidad suficientes como para permitirles desarrollar bien su función aislante. También el mortero de cemento ayuda a proteger contra el fuego, siendo un buen material antiincendios para construcciones navales y terrestres (cines, salas de reuniones, teatros, etc.). También podemos ver paneles de este tipo ya instalados: arriba formando parte de un pavimento; en el centro, en el techo de una casa de madera y como protección de la cubierta. Abajo, a la izquierda, aislamiento de un conducto de aire acondicionado; y, a la derecha, un aislante flexible que se usa como protector térmico de un tubo de agua caliente o de vapor.





Al inicio de una partida, las piezas deben estar colocadas como se recoge en la imagen. La posición correcta del tablero requiere que cada jugador tenga una casilla blanca en la esquina situada a su derecha; en las casillas de los extremos se colocan las dos torres, a su lado los caballos, luego los alfiles y después el rey y la reina, ésta sobre la casilla de su color; delante se colocan los ocho peones. El que juega las piezas blancas mueve el primero. Las columnas (verticales) se indican con letras, de la A a la H; las filas (horizontales) se indican de abajo arriba con números, del 1 al 8; una serie alineada de casillas del mismo color y con la misma dirección se llama diagonal. Cada pieza se desplaza de forma diferente.

No puede afirmarse realmente que el juego del ajedrez tenga un gran poder de convocatoria. Sin embargo, no hace demasiados años tuvo lugar un campeonato de ajedrez que atrajo la atención de millones de personas de todo el mundo. Se trataba del largo torneo, valedero para el campeonato del mundo, que se celebró en 1972 entre el estadounidense Bobby Fisher y el soviético Boris Spassky. Las largas y difíciles negociaciones que fueron necesarias debido a la actitud intransigente y a las crecientes exigencias del campeón estadounidense —que parecía estar siempre a punto de abandonar el juego si no se accedía a sus deseos— mantuvieron a los espectadores con la respiración contenida desde el principio. Los periodistas que cubrían el torneo se encargaron de describir pormenorizadamente no sólo los resultados de las partidas sino, además, las jugadas más geniales, y, sobre todo, la constante controversia entre el "excéntrico" jugador estadounidense y el paciente ajedrecista soviético.

Sin embargo, y a pesar de su buen hacer, Spassky perdió el torneo. No obstante, Fisher fue privado poco después de su título al negarse a defenderlo en el siguiente campeonato mundial.

Otro campeonato mundial de ajedrez celebrado más recientemente, en 1982, se distinguió de los anteriores por el hecho de que ninguno de los jugadores se quejaba del murmullo de los espectadores, de la luz demasiado fuerte o de cualquier otra cosa que Fisher, años antes, consideraba intolerable. En esta ocasión, los jugadores eran máquinas, y sus nombres —"Belle" (de los Laboratorios Bell), "Nuchess" (de la Northwestern University), "Duchess" (de la Duke University) y "Caisa" (de la URSS), entre otros— no han llegado aún a ser famosos. Y de hecho, ¿por qué deberían serlo? Los mejores jugadores humanos son capaces de vencerlas, pero éstas cada vez están más perfeccionadas y en algunos torneos disputados con los hombres comienzan ya a poner en aprietos a su adversario. Por ello, es probable que dentro de pocos años el campeón mundial del juego de ajedrez no sea ya un hombre, sino una máquina.

El juego del ajedrez es muy antiguo: parece ser que ya se conocía en el siglo VI en China y en la India, donde ya un milenio antes existía un juego similar. Tras llegar a Europa con los persas, el juego del ajedrez experimentó una serie de modificaciones de las que se deriva el juego actual. Los cambios principales consistieron en dar mayor importancia y libertad de movimiento a algunas piezas, haciendo el juego más veloz y dinámico.

El juego El juego del ajedrez se lleva a cabo sobre un tablero cuadrado formado por 64 casillas (8×8), blancas y negras alternadas. El color contrastado de las casillas es sólo una cuestión de costumbre y comodidad. El tablero debe situarse de tal manera que la casilla del ángulo inferior derecho de cada jugador sea de color blanco. El tablero se considera dividido en *filas* (conjunto de ocho casillas horizontales) y *columnas* (conjunto de ocho casillas verticales).

Cada jugador tiene a su disposición dieciséis piezas: un *rey* y una *reina*, dos *alfiles*, dos *caballos*, dos *torres* y ocho *peones*. Algunos jugadores utilizan el término

"hombres" para referirse a los peones, llamando "piezas" a todas las demás. Distinguen igualmente las *piezas principales* —la reina y las torres— de las *piezas menores* —los alfiles y los caballos—. Esta distinción se basa en el valor aproximado de las piezas en juego, según el cual la reina vale nueve puntos, la torre cinco, el alfil y el caballo tres cada uno y el peón un punto. Normalmente, los alfiles, en la práctica, tienen un valor ligeramente superior al de los caballos. De todas formas, en el juego moderno el valor de cada una de las piezas depende, en parte, de la posición y del uso que se pueda hacer de ellas.

El *rey* puede moverse en cualquier dirección, pero una sola casilla cada vez. Ya que el juego consiste en "comer" el rey del adversario y evitar que el propio sea "comido", esta pieza queda normalmente el mayor tiempo posible al margen de la actividad ofensiva y muy bien protegida.

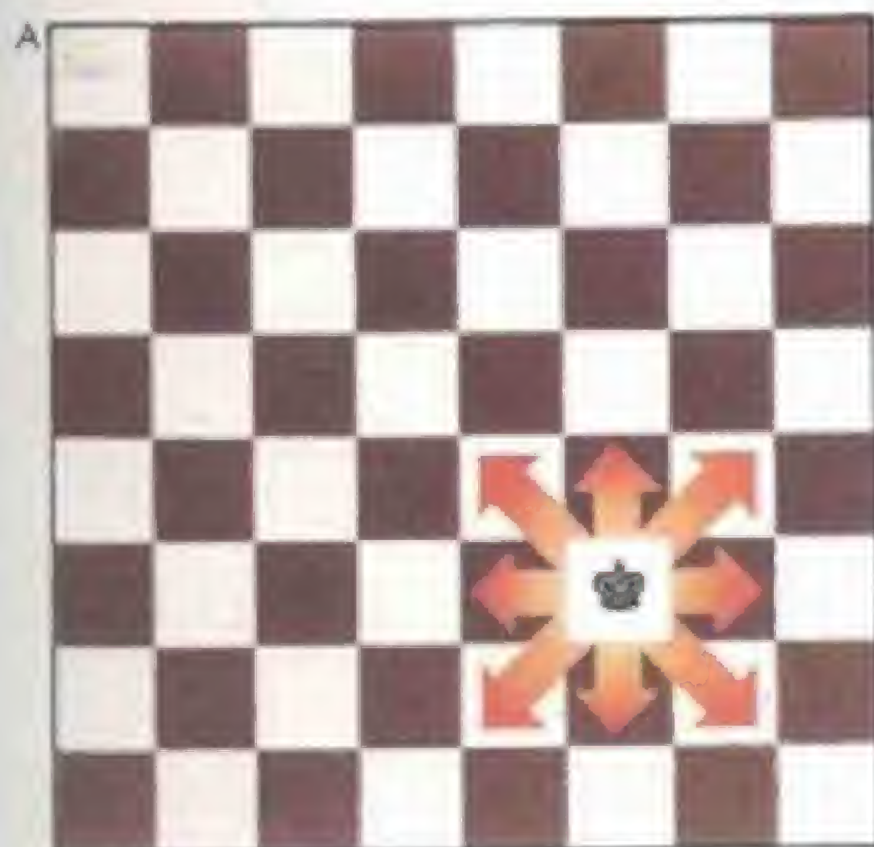
En 1500 se introdujo en Europa un movimiento especial para permitir al rey un desplazamiento mayor en un solo movimiento, buscando con ello una mayor protección. Se trata del *enroque*, único movimiento que permite desplazar a la vez dos piezas del mismo color. Si las demás piezas que se encuentran entre el rey y una de las torres (en el pasado eran llamadas "rocas") se han desplazado de la primera fila, el rey puede enrocarse de la siguiente manera: la torre se sitúa en la casilla inmediata al rey y éste se coloca en la que está al lado de la torre. En el enroque con la torre de rey (*enroque corto*), el rey se desplaza dos casillas hacia la torre y ésta otras dos hacia el rey. En el enroque con la torre de reina (*enroque largo*), el rey se desplaza dos casillas hacia la torre, y ésta tres hacia el rey. El enroque está permitido sólo si ambas piezas (rey y torre) no han sido aún desplazadas, si todas las casillas entre ellos están libres y si ninguna de las tres casillas incluidas en el desplazamiento del rey está bajo el ataque del adversario. Es decir, el rey no puede enrocarse si se encuentra, si pasa, o si va a situarse bajo *jaque* (jaque es el término con el que se conoce el ataque del adversario hacia el rey).

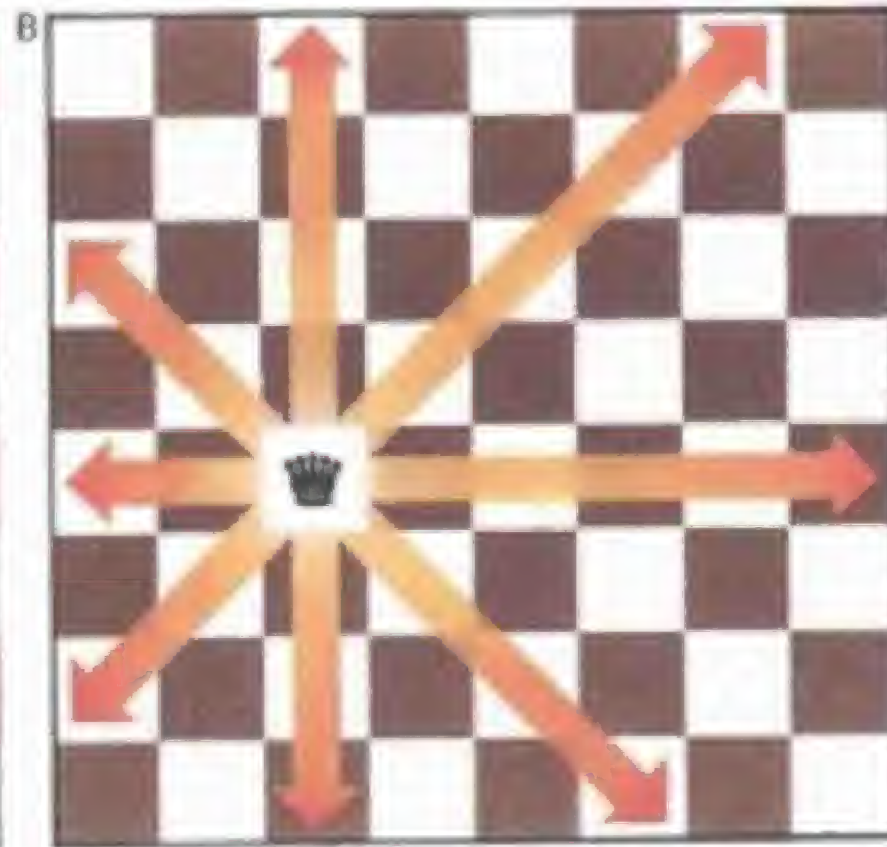
La *reina* puede moverse en cualquier sentido: horizontal, vertical y diagonal, sin limitación de casillas. Puede "comer" la primera pieza contraria que encuentre en su recorrido, obligándola a retirarse del tablero y colocándose en su sitio. Este es el método mediante el cual se "comen" las piezas contrarias, con una sola excepción: la captura de un peón "al paso", que será posteriormente descrita.

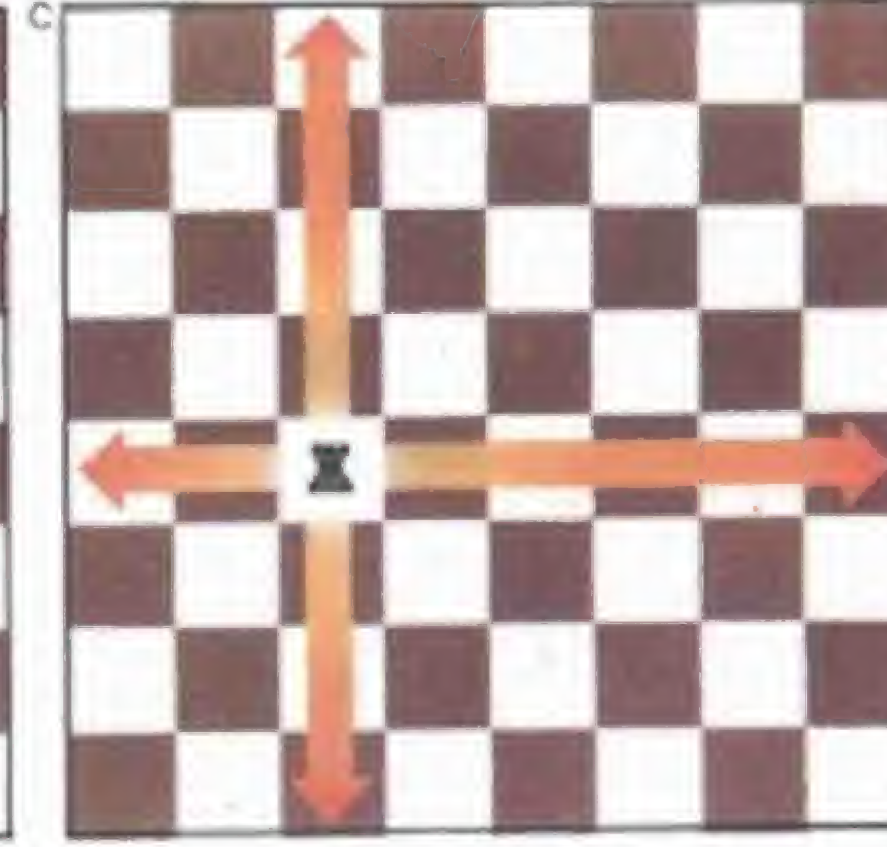
La *torre* puede moverse cuantas casillas se quiera, en sentido horizontal o vertical, pero nunca en diagonal.

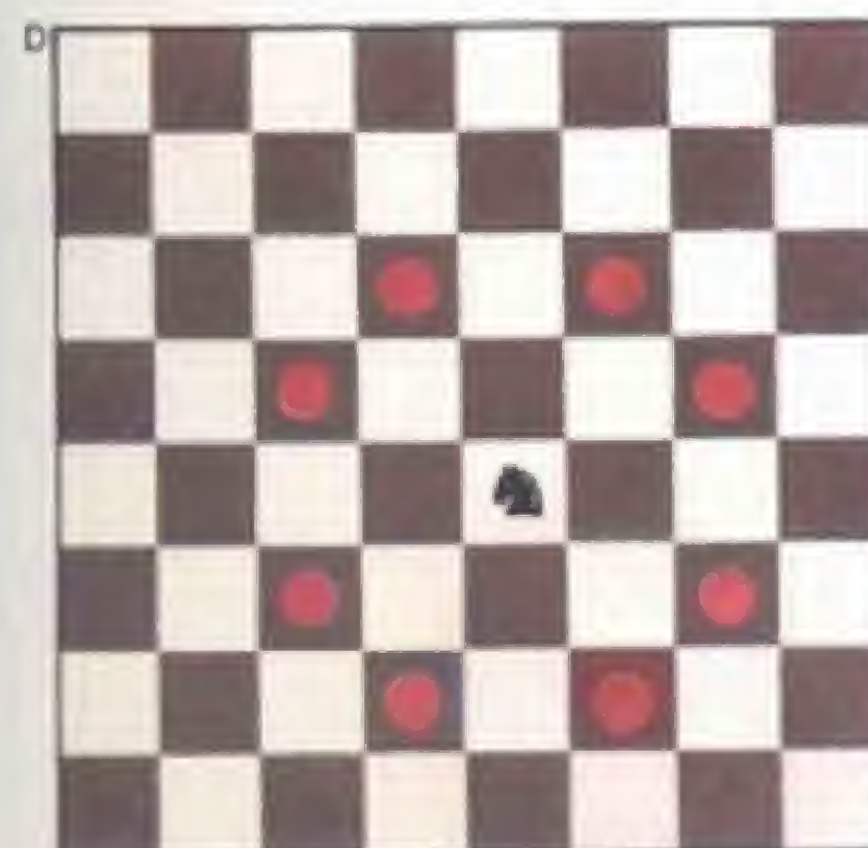
El *caballo* es el único que durante su movimiento puede saltar sobre las otras piezas. Este movimiento, consistente en una especie de L, es bastante particular: dos casillas en cualquier sentido y una de lado. Como el caballo no se mueve a lo largo de una línea, no puede ser bloqueado por otras piezas; aun cuando esté completamente rodeado, es siempre capaz de hallar una vía de escape, a no ser que todas las casillas de llegada estén ocupadas por otras piezas de su mismo color. Una característica de su desplazamiento consiste en el hecho de que, saliendo de una casilla negra, llega a una blanca o viceversa, sucediéndole lo contrario al *alfil*, que, moviéndose siempre en diagonal, permanece

El *rey* (A) se mueve sólo una casilla cada vez, en cualquier dirección: no puede situarse en una casilla atacada por una pieza adversaria, es decir, no puede ponerse bajo jaque. La *reina* (B) es la pieza más importante, porque puede moverse en todas direcciones y cuantas casillas se quiera, siempre que estén libres. La *torre* (C) puede desplazarse horizontalmente (nunca en diagonal) y cuantas casillas se desee. El *caballo* (D) es la pieza que "salta", es decir, no tiene un movimiento rectilíneo, sino que, en forma de "L", salta dos casillas adelante o atrás o hacia los lados y después se desplaza una casilla a derecha o a izquierda o adelante o atrás, de modo que forme una "L". El *alfil* (E) se desplaza sólo en diagonal, y cuantas casillas se desee. El *peón* (F) se mueve verticalmente una sola casilla cada vez, excepto cuando se mueve por primera vez de la posición de partida, que puede avanzar dos casillas. Para "comer" una pieza contraria, el peón se desplaza en diagonal, como un alfil que se moviera una sola casilla. Cuando llega a la octava línea, el peón se transforma en una pieza cualquiera de su color, excepto en rey.

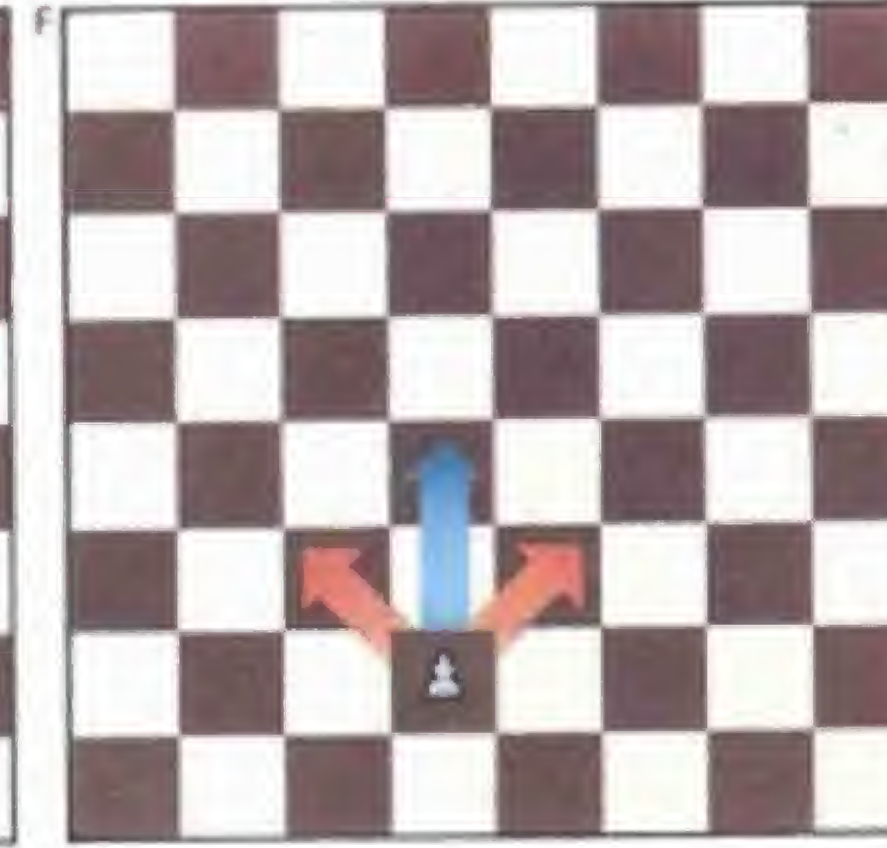












siempre en casillas del mismo color. La *reina*, por combinar desplazamientos lineales y diagonales, presenta los dos casos.

El *peón* tiene distintas posibilidades de movimiento. Normalmente, se desplaza una casilla cada vez y sólo hacia adelante, exceptuando el movimiento inicial en el que puede avanzar dos casillas. El peón, al contrario que las demás piezas, no puede "comer" piezas adversarias en la dirección en que se mueve: sólo puede "comer" en diagonal, y cualquier pieza que se encuentre delante de él bloquea su avance. Además, posee un movimiento especial que le permite "comer" un peón adversario que no se encuentre sobre su diagonal (comer "al paso", del francés *en passant*). Si se encuentra sobre la quinta línea y por cualquiera de las dos columnas a él adyacentes un peón adversario se desplaza dos posiciones, puede "comerle" como si el peón adversario se hubiese movido hacia adelante sólo una casilla. Esta captura debe ser realizada en la jugada inmediatamente sucesiva a aquélla en la que el adversario ha desplazado su peón dos posiciones hacia adelante.

Si el peón llega a la octava línea, es "ascendido" y se convierte en cualquier otra pieza a elegir por el jugador (excepto el rey). Normalmente, el jugador decide transformarlo en reina, si bien, en algunos casos, una pieza menor —como, por ejemplo, el caballo— puede ser más útil. No existen limitaciones, y si los ocho peones llegan a la última línea, el jugador puede tener a su disposición nueve reinas.

Vencedor y perdedor La partida está ganada (*jaque mate*) cuando el rey del adversario está bajo *jaque* y no existen posibilidades de salvación, es decir, no es posible "comer" la pieza que ataca o situar una pieza entre el rey y el atacante. El jugador que da el jaque debe anunciarlo en voz alta al adversario, aunque esto no es obligatorio en algunos países.

Dado que no es reglamentario ignorar el jaque o ponerse bajo jaque voluntariamente, no se gana nada con esperar que el contrario no se haya dado cuenta. Habitualmente, el juego se rige por la regla "pieza tocada, pieza jugada", que no vale, sin embargo, en el caso en que se haya dado jaque a uno de los jugadores.

Las partidas se juegan generalmente sin limitación de tiempo; algunas han durado meses, e incluso se juega por correspondencia, cada carta una jugada. Sin embargo, en los torneos suele limitarse el tiempo máximo por jugada a cinco minutos, lo que se controla con sendos cronómetros, que se ponen alternativamente en marcha en el instante en que uno de los jugadores realiza un movimiento.

Empate La partida se considera empatada (o mejor dicho, en *tablas*) en los siguientes casos: 1) en el llamado caso de *jaque perpetuo*, en el que uno de los dos jugadores pone continuamente bajo jaque al rey contrario, pero sin llegar al jaque mate; 2) cuando se llega por tercera vez a la misma posición, correspondiéndole el movimiento siempre al mismo jugador; 3) cuando se han efectuado 50 movimientos sin "comer" piezas o sin que ningún peón se haya movido. Además, se declara que la partida ha quedado en tablas cuando ambos jugadores tienen sus "fuerzas" reducidas hasta el punto de no poder llegar a la victoria, aceptando ambos el empate. Finalmente, se considera que una partida acaba en tablas si se llega a una situación de estancamiento, es decir, cuando uno de los dos jugadores, aun no estando bajo jaque, no tiene ninguna posibilidad de mover si no es poniéndose bajo jaque, lo que no es reglamentario. A veces un jugador que va perdiendo intenta llegar al estancamiento, consiguiendo si no la victoria (1 punto), sí las tablas (medio punto).

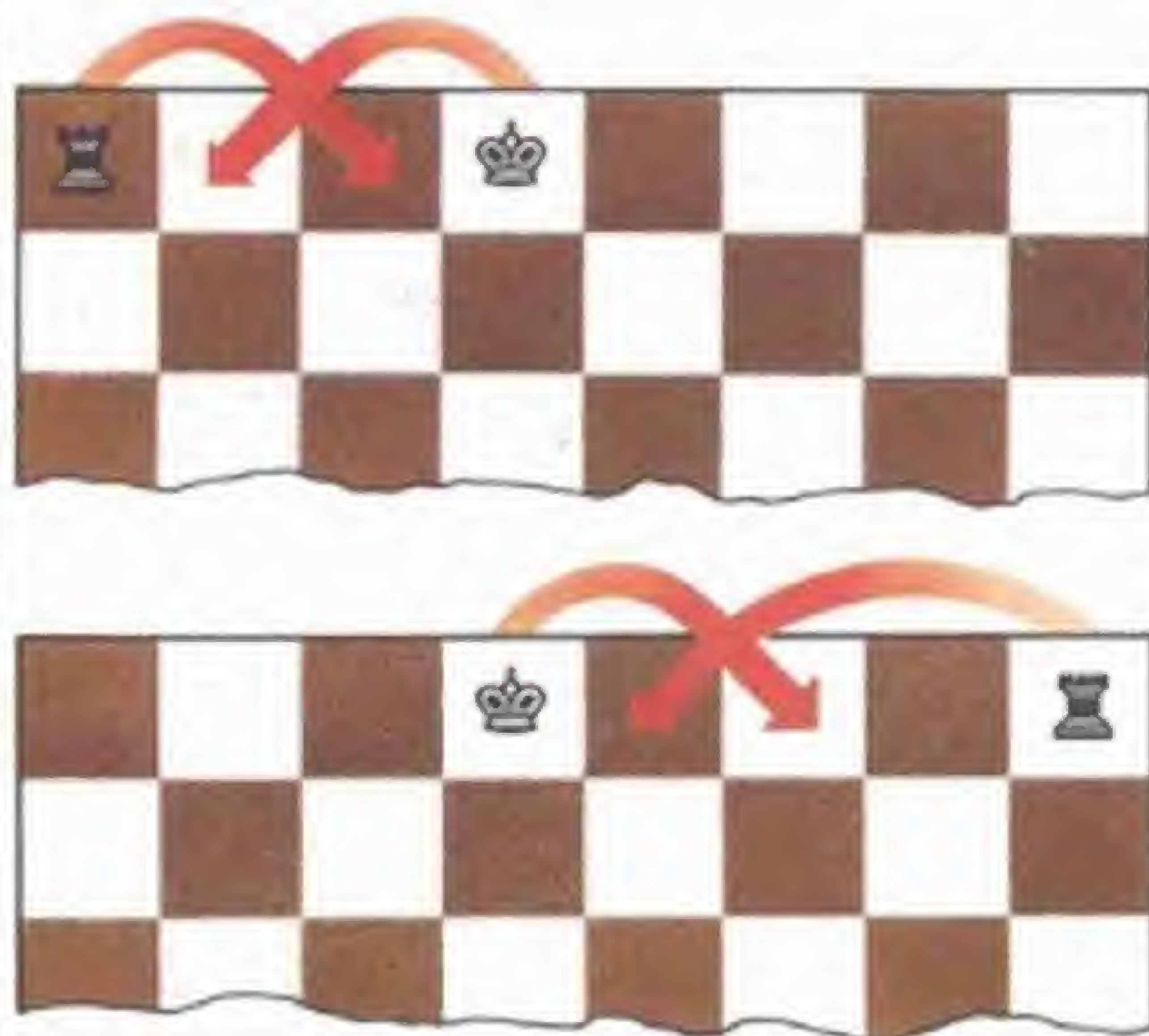
Notaciones El ajedrez ha dado lugar a numerosas publicaciones que recogen partidas de campeonatos y estudian "problemas" partiendo de posiciones determinadas. Muchos periódicos dedican también una sección a este juego.

La transcripción de partidas exigía la creación de un lenguaje universal, que expresara con la mayor sencillez posible los sucesivos movimientos de una partida. Hoy día existen dos sistemas principales de notación.

El *sistema descriptivo*, que es el más usado en Estados Unidos y en los países de la Commonwealth, considera el tablero como si fuese una retícula, estableciendo dos posibles denominaciones para cada casilla, según la persona que efectúa el movimiento. En el diagrama que se utiliza, las abreviaturas usadas para los movimientos de las piezas blancas se muestran arriba y a la derecha, y las utilizadas para los movimientos de las negras se indican al revés. Las columnas tienen los mismos nombres (A, B, C...), pero los números de las filas van al contrario (1,2,3,...8), según se cuenten desde el lado de las blancas o desde las negras. Por ejemplo, la casilla del rey negro es R8 negro. Para reproducir los movimientos, se nombra la pieza movida y después la casilla de llegada: por ejemplo,



Bertoldi/Archivo Fabbri/Selagiochi-Milán


En el transcurso de una partida, un jugador tiene una sola posibilidad de efectuar el "enroque". Enrocarse significa desplazar el rey hacia su derecha o a su izquierda en dirección a una torre, y colocar ésta en la casilla que se halla al otro lado del rey. Para que el enroque sea posible, deben darse algunas condiciones: ni el rey ni la torre deben haber sido movidos antes con respecto a sus posiciones iniciales; las casillas entre las dos piezas deben estar libres; el rey no debe haber sido puesto bajo jaque anteriormente, no debe quedar en ese momento situado bajo jaque, ni atravesar una casilla libre controlada por una pieza adversaria.

Desde hace algunos años los aficionados al ajedrez tienen la posibilidad de ponerse a prueba con un "contrincante electrónico". De hecho se venden tableros de ajedrez dotados de ordenadores (en la imagen) que pueden constituir un digno y hasta difícil adversario.

Los programas prevén un cierto número de niveles de juego, desde principiante a experto. El ordenador registra el movimiento del jugador y comunica su propia respuesta, indicando, por medio del encendido de señales luminosas puestas en cada una de las casillas, la casilla de partida y la de llegada de las piezas que desea mover.

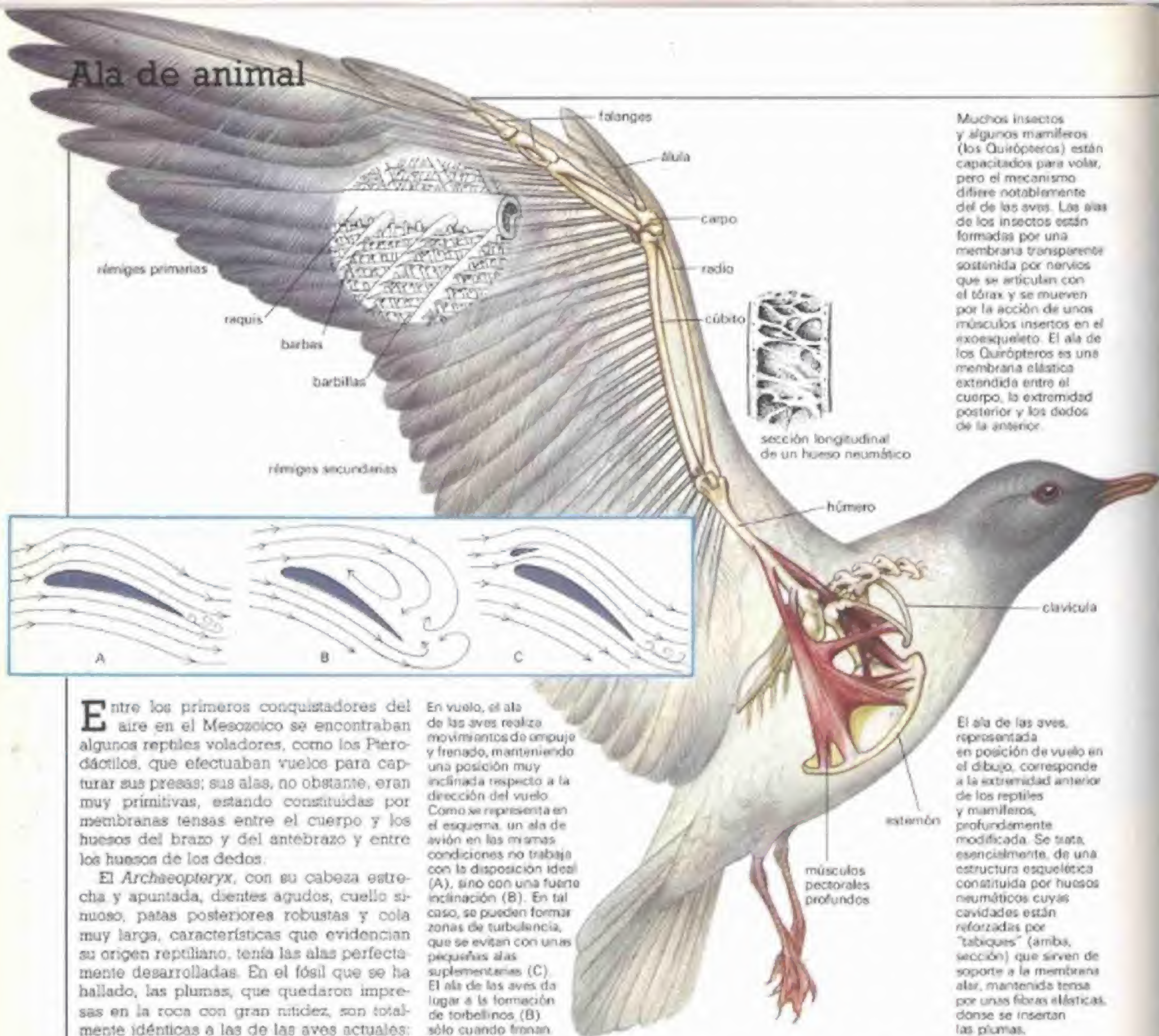
P-RB4, que significa "peón de rey a la columna B fila 4". En algunos casos, para evitar que se produzcan equívocos, es necesario indicar también la casilla de partida. El otro sistema, llamado *algébrico*, es mucho más conciso y no da lugar a equívocos. Cada casilla tiene un solo nombre, evitándose cualquier dato superfluo. Se omite incluso el nombre de la pieza interesada, a menos que sea indispensable. Las casillas se clasifican de la A1 a la H8, cambiando las letras de derecha a izquierda y los números de abajo a arriba. Si el que se mueve es el peón, suele escribirse simplemente e4 en vez de Pe2-e4, para indicar que el peón que se halla delante del rey se desplaza a e4. Además, dado que muchas publicaciones que utilizan este sistema se distribuyen por todo el mundo, para evitar equívocos es preferible usar un dibujo que represente la pieza, en vez de su inicial, que varía de un idioma a otro.

Véase Juegos electrónicos; Teoría de juegos



R. Serrano

Ala de animal



Muchos insectos y algunos mamíferos (los Quirópteros) están capacitados para volar, pero el mecanismo difiere notablemente del de las aves. Las alas de los insectos están formadas por una membrana transparente sostenida por nervios que se articulan con el tórax y se mueven por la acción de unos músculos insertos en el exoesqueleto. El ala de los Quirópteros es una membrana elástica extendida entre el cuerpo, la extremidad posterior y los dedos de la anterior.

En vuelo, el ala de las aves realiza movimientos de empuje y frenado, manteniendo una posición muy inclinada respecto a la dirección del vuelo. Como se representa en el esquema, un ala de avión en las mismas condiciones no trabaja con la disposición ideal (A), sino con una fuerte inclinación (B). En tal caso, se pueden formar zonas de turbulencia, que se evitan con unas pequeñas alas suplementarias (C). El ala de las aves da lugar a la formación de torbellinos (B) sólo cuando frenan.

El ala de las aves, representada en posición de vuelo en el dibujo, corresponde a la extremidad anterior de los reptiles y mamíferos, profundamente modificada. Se trata, esencialmente, de una estructura esquelética constituida por huesos neumáticos cuyas cavidades están reforzadas por "tabiques" (arriba, sección) que sirven de soporte a la membrana alar, mantenida tensa por unas fibras elásticas, donse se insertan las plumas.

Entre los primeros conquistadores del aire en el Mesozoico se encontraban algunos reptiles voladores, como los Pterodáctilos, que efectuaban vuelos para capturar sus presas; sus alas, no obstante, eran muy primitivas, estando constituidas por membranas tensas entre el cuerpo y los huesos del brazo y del antebrazo y entre los huesos de los dedos.

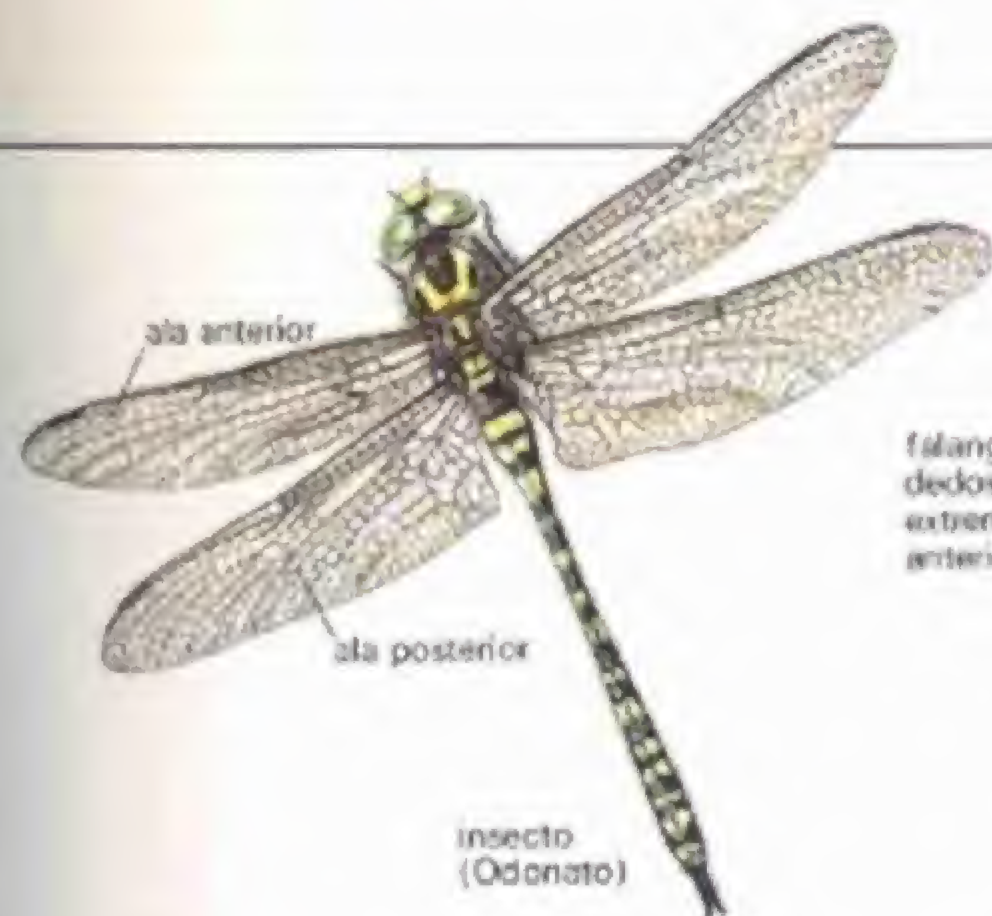
El *Archaeopteryx*, con su cabeza estrecha y apuntada, dientes agudos, cuello sinuoso, patas posteriores robustas y cola muy larga, características que evidencian su origen reptiliano, tenía las alas perfectamente desarrolladas. En el fósil que se ha hallado, las plumas, que quedaron impresas en la roca con gran nitidez, son totalmente idénticas a las de las aves actuales: las rémiges primarias parten de la zona de la muñeca y de la mano, mientras que las secundarias se originan en el antebrazo.

Un órgano de vuelo El ala es el órgano para el vuelo que caracteriza a las aves, pero también otras especies animales de insectos y mamíferos lo poseen, aunque su origen, estructura y morfología no son los mismos en los diferentes grupos.

El ala de las aves está constituida esencialmente por una *estructura esquelética* en correspondencia con el miembro anterior profundamente modificado. La estructura anatómica del ala ha conservado una cierta analogía con la extremidad pentadáctila de los vertebrados, aunque ha experimentado una serie de adaptaciones que la hacen apta para el vuelo. Aparece formada por los mismos huesos: el húmero, el radio y el cúbito, aunque éste es mucho más voluminoso; el carpo, formado sólo por dos huesos; el metacarpo y los dedos, de los cuales sólo mantiene el segundo, el tercero y el cuarto. En las especies menos adaptadas al vuelo, e incluso en algunas incapaces de volar, varios elementos del esqueleto del ala han experimentado un proceso de atrofia. Importancia decisiva tienen los *músculos del ala*. El gran pectoral, que se une al esternón y al húmero, produce el movimiento de bajada del ala, mientras que el pequeño pectoral, que se inserta en el esternón y en la base del húmero, es el principal responsable del movimiento de subida. En general, cuando el ala está en posición de reposo, el húmero está dirigido hacia atrás, y el radio y el cúbito hacia delante, formando un ángulo con el húmero.

El esqueleto del ala sirve de soporte a una membrana alar constituida por un pliegue cutáneo que se mantiene tenso gracias a unas fibras elásticas y en el que se insertan las plumas.

Las *plumas* son formaciones córneas especiales, que se pueden considerar como escamas profundamente modificadas. En una pluma se distingue un eje de sostén llamado *raquis*, en cuyos márgenes opuestos se insertan alineadas las *barbas*, provistas a su vez de *barbillas*. Las barbas y barbillas dan lugar a una formación laminar llamada *estandarte*. En cuanto a la función de las plumas, son particularmente importantes las de la cola, llamadas *timoneras* o tectrices, y las *rémiges* de las alas, dispuestas de tal modo que aseguran la mayor eficiencia de funcionamiento durante el vuelo. Las rémiges, según el punto donde se insertan en el esqueleto, se dividen en primarias (en la región que va del metacarpo a las falanges del tercer y cuarto dedo), secundarias (en el cúbito) y terciarias (en el húmero). Tanto en la cara inferior como en la superior del ala hay algunas plumas más cortas, las *coberteras*, que tienen la misión de proteger el punto de inserción de las rémiges





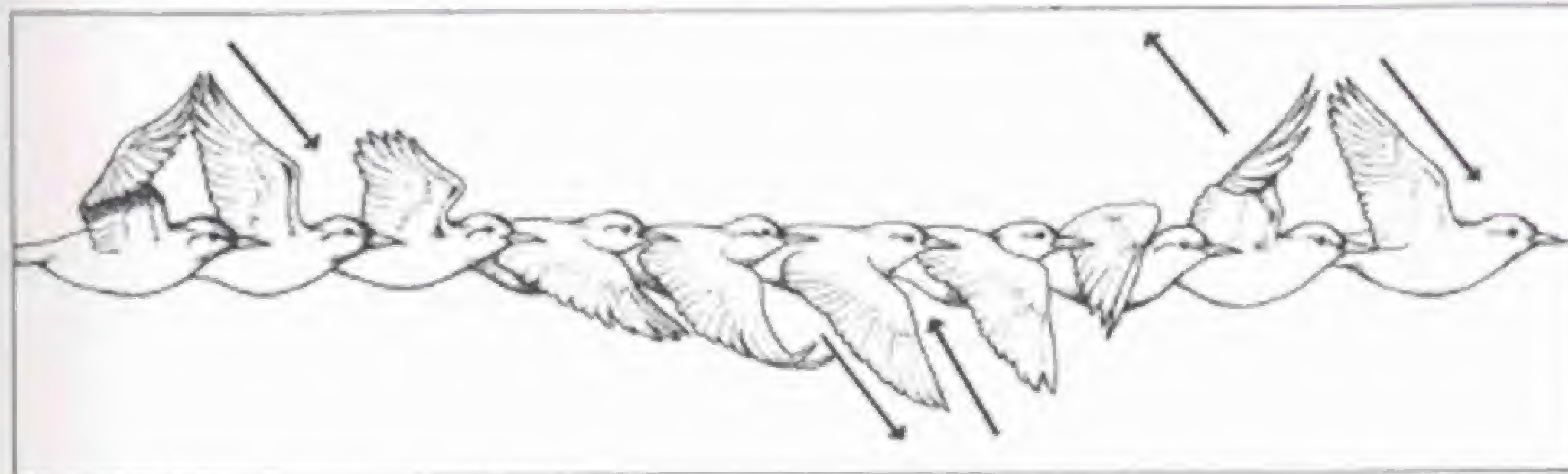


sobre la membrana alar. La forma y las dimensiones de las rémiges tienen un papel muy importante en el vuelo. Las aves con rémiges estrechas y largas tienen un vuelo muy rápido, mientras que las rémiges anchas y amplias corresponden a un vuelo uniforme y vigoroso.

Ala de membrana doble También los insectos vuelan, pero en su caso el mecanismo de vuelo es completamente distinto. En primer lugar, sus alas no derivan de modificaciones de las patas, sino de regiones del mesotórax y del metatórax, es decir, de las partes superiores del segundo y tercer segmento torácicos. Estas alas están formadas por un repliegue cutáneo sostenido por una nerviación que frecuentemente es muy parecida a la de las hojas. Las alas están desnudas; sólo en algún caso aparecen cubiertas de pelillos o de minúsculas escamas, como en los Lepidópteros, o más o menos esclerotizadas, como en los Hemípteros o en los Coleópteros, donde reciben el nombre de *élitros*. Los mejores voladores entre los insectos consiguen desarrollar una potencia que les permite mantener en vuelo un peso bastante mayor que el de su cuerpo y volar con las alas dañadas.

mente derecho, como si fuera un timón, para asegurar la estabilidad del vuelo, mientras otro par genera el impulso necesario para avanzar.

El batir de las alas de los insectos es mucho más rápido que el que se observa en los pájaros, y también la maniobrabilidad en el vuelo es mucho mayor. Las alas de las abejas durante el vuelo se mueven con una frecuencia de doscientas cincuenta vibraciones por segundo, que en el caso del mosquito puede llegar hasta mil. Gracias a esta excepcional capacidad, muchos insectos pueden escapar en cualquier dirección rapidísimamente, lo que resulta enormemente útil para su supervivencia. Totalmente distinto es el caso de los únicos mamíferos capaces de volar actualmente, los murciélagos. Sus alas están formadas por una membrana, el *patagio*, que se extiende a los lados del tronco, desde las extremidades anteriores y los dedos, que son excepcionalmente largos. El patagio es fino y ligero, y constituye un ala planeadora a la vez que de vuelo batido. Los murciélagos en general son insectívoros y han desarrollado una notable efectividad en el vuelo que les permite capturar las presas, aunque sus alas son bastante menos



El ala de las aves tiene la misión de mantenerlas en vuelo y propulsarlas. Por tanto, actúa como ala y como hélice. Para llevar a cabo la función propulsora, el ala debe girar al tiempo que bate, volviéndose hacia arriba y hacia abajo mientras sube y baja. La secuencia de la izquierda representa, con ayuda de flechas, la unión del movimiento de batido con el de rotación.

Muchos insectos mueven las alas describiendo con ellas la figura de un ocho, análoga a la descrita por los remos de una barca. Otros mueven independientemente cada par de alas, como las libélulas; en otros, un par de alas se mantiene vertical-

manejables que las de las aves. En el vuelo se ayudan extraordinariamente con una forma especial de radar que, gracias a la emisión de chillidos de alta frecuencia sonora (ultrasonidos), les permite evitar los obstáculos y localizar la posición de las

presas mediante la interpretación de las señales de retorno o ecos, devueltas por los objetos contra los que chocan los ultrasonidos emitidos.

Véase **Abeja; Archaeopteryx; Insectos**

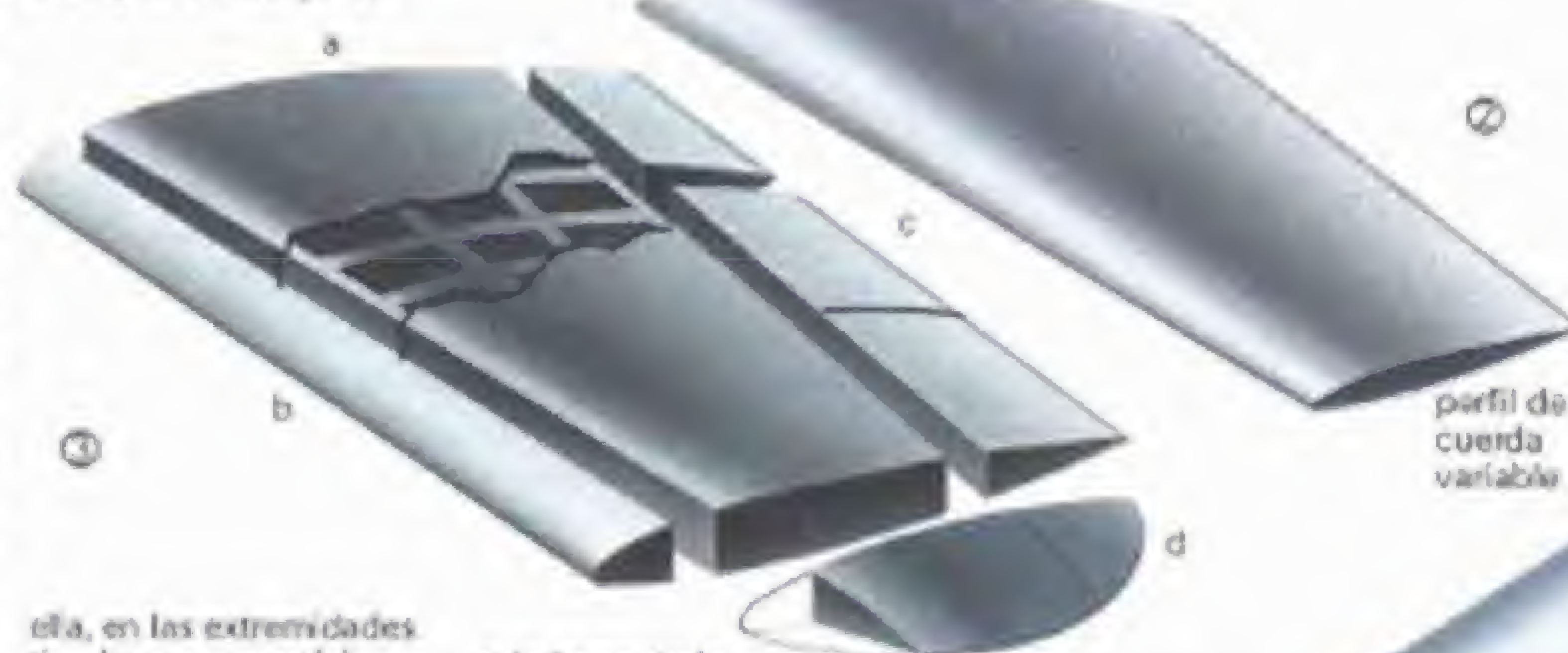
Ala de avión

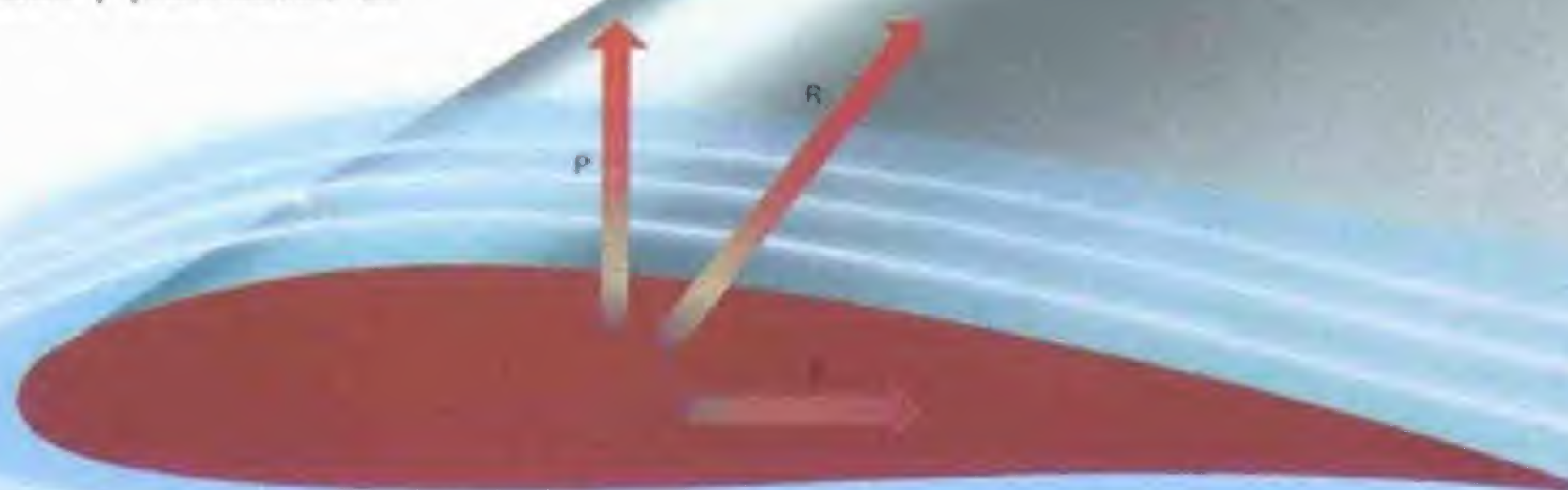
El ala de un avión es una estructura con un único objeto, el de proporcionar la fuerza de sustentación que mantiene en vuelo al avión. Su forma, estructura y posición respecto al fuselaje están determinadas con ese único fin. En contra de lo que ocurre con las alas de los animales, el ala de un avión no puede realizar las dos funciones básicas del vuelo: propulsión y sustentación. El avance del avión es confiado al motor, que constituye un mecanismo completamente diferente. Sin embargo, por lo que se refiere a su génesis, se puede decir que el ala del avión desciende de la del pájaro. Ya en la mitología griega, Dédalo e Icaro imitaron las alas de los pájaros para efectuar sus tentativas de vuelo. Pero en la época de tales leyendas se desconocía, y siguió ignorándose durante muchos siglos, el principio básico que permite volar a los pájaros. Se trata del principio, formulado por el matemático suizo Daniel Bernouilli hace ya trescientos años, según el cual el aire que fluye sobre una superficie curvada crea por encima de ella un área de baja presión que se manifiesta como una fuerza que trata de levantar la superficie. Vista de perfil, el ala de un pájaro presenta una curvatura acusada, un arco cuya zona más pendiente, llamada *borde de ataque*, se encuentra en la parte delantera. Otto Lilienthal, el gran pionero alemán del vuelo sin motor, captó ese detalle observando el vuelo de las gaviotas y lo tuvo muy en cuenta al construir los planeadores con los que realizó múltiples vuelos en los alrededores de Berlín. Wilbur y Orville Wright, estudiando los trabajos de Lilienthal y basándose en principios análogos, construyeron las alas de sus planeadores y pusieron a punto una máquina que, propulsada por un motor de gasolina que ellos mismos fabricaron, logró realizar con éxito el primer vuelo a motor de la historia de la aviación, el 17 de diciembre de 1903.

Alas distintas para distintos fines Ya en la época de la I Guerra Mundial las alas de los aviones comenzaron a experimentar las primeras modificaciones. Fueron diferenciándose claramente las de los aviones de combate o cazas (monoplazas ligeros, rápidos, maniobrables y prácticamente sin

El ala de un avión es, junto con el motor, el elemento más importante y el que más atención y cuidado requiere en su proyecto y realización. La forma de la sección del ala se llama *perfil*. Del perfil dependen las características de vuelo del avión. Normalmente, el perfil es, al menos para los aviones veloces, convexo arriba y también convexo, pero menos, abajo. Ya en movimiento, experimenta una compresión abajo y una disminución de presión arriba, provocando un efecto como si el ala fuera "succionada" hacia arriba, contribuyendo al sostenimiento del avión en el aire. Puesto que el aire se comprime sobre el ala y se expande debajo de ella, en las extremidades tiende a escapar del borde hacia arriba. De esta forma se originan vórtices y, como consecuencia, la sustentación disminuye y la resistencia aumenta. Estos fenómenos se ilustran en 1). Una posible solución es la que se representa en el esquema 2): el ala se construye en planta rectangular pero la cuerda se va acortando a lo largo de la envergadura: de esta forma las extremidades son más cortas y los fenómenos a los que aludimos se producen en menor medida. Abajo, un perfil alar: R es la resistencia que el perfil opone al avance; P, la fuerza de sustentación necesaria para que el avión vuele; F, la fuerza resultante.

formación de vórtices
①
formación de vórtices





ninguna carga) y las de los bombarderos (aparatos cada vez más grandes, dotados de dos o más motores, con tripulaciones de siete hombres y una carga de media tonelada, o incluso más, de bombas).

Las características que debían presentar las alas de esos dos tipos de aviones eran bien distintas. Así, los cazas utilizaban alas delgadas, sólo levemente curvadas, para disminuir la resistencia aerodinámica y aumentar la velocidad. Los bombarderos, sin embargo, necesitaban alas gruesas, con gran curvatura para asegurar la máxima sustentación. Esto implicaba necesariamente una disminución de la velocidad, que se compensaba, al menos en parte, con la dotación de varias ametralladoras para repeler los posibles ataques enemigos. Durante el período posbélico aparecieron nuevas exigencias. En Europa se manifestó inmediatamente el deseo de aprovechar el avión como nuevo y veloz medio de transporte.

Inglaterra, Francia y Alemania estuvieron entre las primeras naciones que instituyeron líneas aéreas. Al principio se adaptaron bombarderos con este fin, pero, luego, proyectistas de talento, como el holandés Anthony Fokker, el alemán Hugo Junkers, el inglés Geoffrey de Havilland y otros se dedicaron a diseñar aviones destinados únicamente al transporte de pasajeros y mercancías.

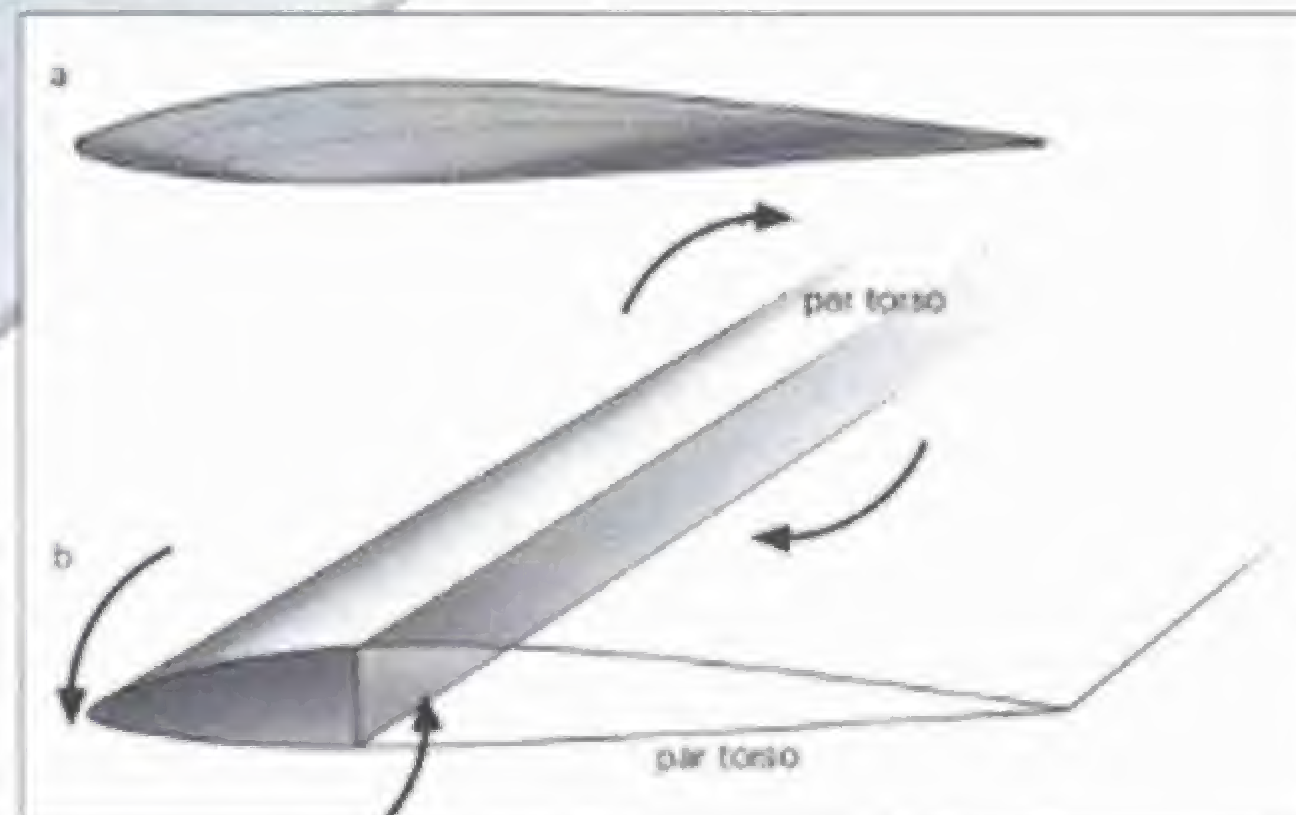
Durante los años veinte el interior de los aviones perdió el aspecto espartano de los primeros aparatos: así, las cabinas destinadas a los pasajeros se dotaron con suaves alfombras, mullidas butacas, cuadros, etc., además de establecer servicio de restaurante. Uno de los aviones más sorprendentes de aquella época era el *Junkers G38*, un avión con cuatro motores y una envergadura aproximada de 50 metros. Su ala era tan amplia que algunos de los 34 pasajeros que transportaba se alojaban en su borde de ataque.

A pesar de esos progresos, la mayor parte de los aviones comerciales de la época no estaban todavía en condiciones de competir, por la duración del viaje y por la falta de comodidad, con los eficientes trenes "expresos" de la época. El empuje decisivo se tuvo al comienzo de los años treinta, cuando Estados Unidos, que había sido el último en participar en la competición por las líneas aéreas, desarrolló un nuevo avión con una estructura revolucionaria: un esbelto monoplano con tren de aterrizaje retráctil, motores gemelos instalados en el ala y una forma aerodinámica que reducía al mínimo la resistencia del aire. El mejor ejemplo de todas estas novedades en el diseño de aviones lo constituía el *Douglas DC-1*, al que pronto siguieron el *DC-2* y el *DC-3*, el cual en poco tiempo batió todos los récords de velocidad y economía.

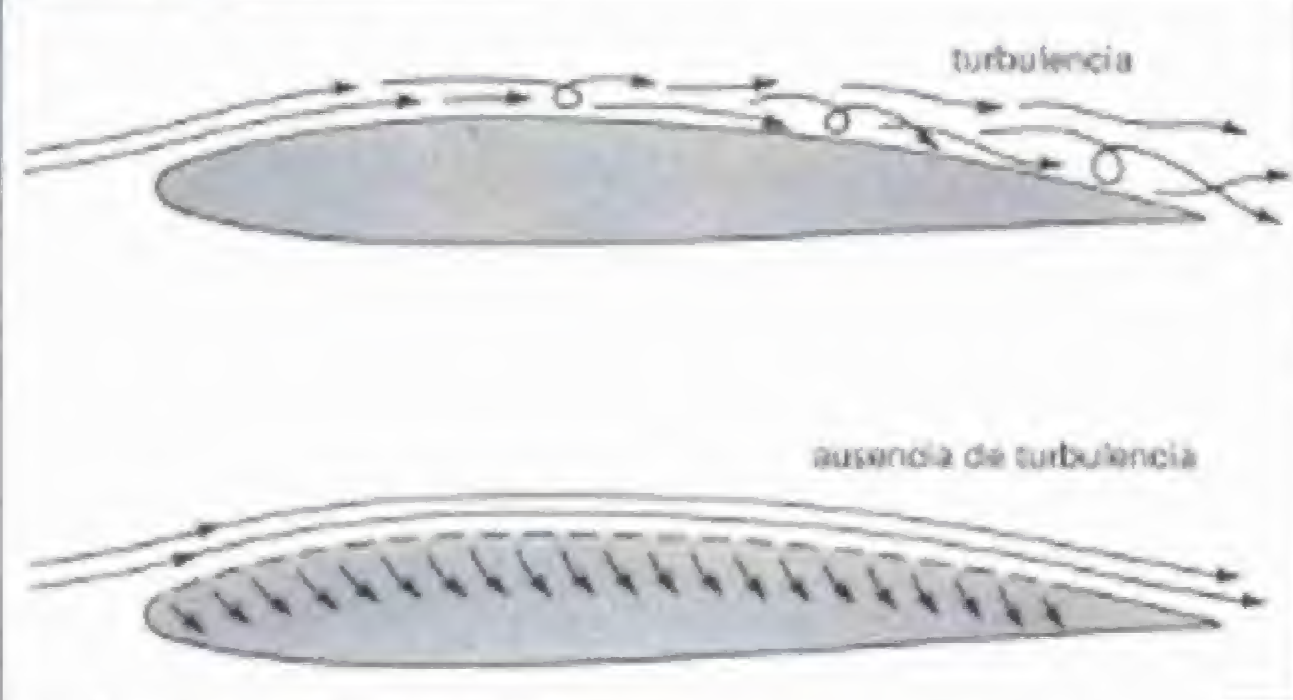
Aletas, alerones y otros accesorios

El ala del avión estaba sometida en aquella época a modificaciones sorprendentes, enriqueciéndose y perfeccionándose con accesorios cuidadosamente estudiados y diseñados que cambiaron radicalmente y mejoraron de forma notable sus prestaciones. Los más importantes fueron, quizás, los elementos hipersustentadores (*flaps*), los cuales se extendían a partir de los bordes posteriores de las alas y volvían a retraerse en los mismos. En los veloces aviones comerciales de línea se adoptaron de forma inmediata, aumentando la superficie del ala y su curvatura, lo que hacía posible conferir a un ala delgada una sustentación mucho mayor para los despegues a plena carga. Los *flaps* podían retraerse para obtener una velocidad de crucero más alta; y, después, ser utilizados para disminuir la velocidad de pérdida durante el aterrizaje. La eficacia del ala podía aumentarse extendiendo aletas hipersustentadoras delante y por encima del borde de ataque, ya que dirigían y uniformaban el flujo de aire sobre el ala, aumentando así la sustentación y reduciendo las consecuencias de posibles turbulencias, que podrían producir la pérdida de sustentación y velocidad.

El advenimiento de la era de los reactores impuso ulteriores modificaciones al perfil del ala. Los rápidos aviones militares fueron dotados de alas delgadas y resistentes que se parecían a hojas de navaja, forma que resultó ser la más adecuada a las altas velocidades que permite obtener el motor a reacción. Cuando la velocidad fue aumentando y el flujo de aire se fue homogeneizando con el empleo de remaches embutidos en el montaje, también las alas de los aviones de línea se fueron transformando en estructuras bastante delgadas, casi planas. Los nuevos métodos de diseño permitieron almacenar casi toda la carga de combustible en el interior de las alas, que de esta forma debían sostener su propio peso además del peso del avión. Las prestaciones supersónicas alcanzadas en los últimos tiempos han dirigido las alas de los aviones militares hacia configuraciones en "flecha" o en "delta".



En las configuraciones inclinadas de despegue y aterrizaje existe el peligro de la *pérdida*, en la cual el ala repentinamente deja de sustentar y únicamente ofrece una gran resistencia. Se forman vórtices a la salida del ala. Como el fenómeno en cuestión parte de la extremidad, la sección del ala es obligada a girar progresivamente hacia abajo a medida que nos movemos hacia los extremos (a). En (b) puede verse el par de fuerzas que actúan en vuelo y que tienda a retorcer las alas.



Construir bien un ala es un problema de ingeniería muy complejo. El ala debe ser ligera y resistente y alojar además múltiples y complicados dispositivos. En 3) vemos las distintas partes en las que se divide normalmente su estructura: a) es el cajón central que, con los largueros y las costillas, junto con el fuerte recubrimiento, asegura la rigidez necesaria ante la flexión y torsión. Da cabida a los depósitos de combustible y a él se ensamblan el tren de aterrizaje y los motores; b) es el borde de ataque que contiene los dispositivos antihielo, que pueden ser de varios tipos: calefacción por aire caliente, sangrado de los motores, calefacción mediante resistencias eléctricas y dispositivos neumáticos, que consisten en una especie de bolsas de goma pegadas al borde de ataque del ala (sin alterar su geometría) que al inflarse en vuelo rompen la delgada pero no por ello menos peligrosa capa de hielo que pudiera haberse formado; y los mecanismos que sirven para extraer las aletas, que varían su perfil y la hacen apta para el vuelo en las fuertemente inclinadas configuraciones de despegue y aterrizaje; c) es el borde de salida, que contiene aletas para modificar el perfil del ala en despegue y en aterrizaje; finalmente, d) es el carenado de la punta del ala, que normalmente contiene las luces de posición. Arriba puede verse la turbulencia debida al deslizamiento del flujo de aire sobre la superficie alar. Recientemente ha sido desarrollada un ala dotada de una serie de taladros que permiten la entrada de parte del flujo de aire, creándose de esta forma una cámara de compensación alar que, equilibrando las presiones, logra la desaparición de los efectos de turbulencia.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Ala de animal**

Alarma y sistemas de seguridad

La tecnología de la era espacial ha transformado, en el transcurso de pocos años, muchos aspectos de nuestra vida, pero pocos de forma tan significativa como el relativo a la protección de todo tipo de locales y edificios.

Hoy ya no hay que depender de la vigilancia de los vecinos o de la ya clásica figura del sereno, sino que se puede dotar a los edificios de muy distintos sistemas de seguridad, incluidos los basados en ultrasonidos y microondas. El tipo de dispositivo que se instala está determinado por la aplicación particular y por la naturaleza del peligro que se quiere detectar. Muchos sistemas de alarma están pensados para proteger las viviendas contra los robos; otros están estudiados para proteger automóviles, oficinas y tiendas; otros detectan la presencia de humo, gas o fuego.

Los componentes de un sistema de alarma Un sistema de alarma está formado por tres partes fundamentales: un *circuito de protección*, un *dispositivo de aviso* y un *circuito de control*. Un circuito es simplemente un trazado recorrido por una corriente eléctrica. Por ejemplo, un circuito elemental se puede formar conectando, por medio de un cable, un interruptor, una bombilla y una toma de corriente. Cuando el interruptor está encendido, se produce un flujo continuo de corriente a través del cable y la bombilla; en este caso se dice que el circuito está *cerrado*. Cuando el interruptor está apagado o el cable está desconectado, la corriente deja de pasar y la bombilla no se enciende: en este caso el circuito se dice que está *abierto*.

El *circuito de protección* es la parte del sistema que, en la práctica, actúa como detector. Muchos tipos de circuitos de protección conllevan el paso de una corriente muy baja cuando el circuito está cerrado. Cuando dicho circuito se interrumpe, salta la alarma. En cambio, hay otros tipos que mantienen siempre el circuito abierto, y activan la alarma sólo cuando aquél se cierra. Dichos circuitos de protección se pueden diseñar para que se active la alarma en aquellos casos en los que la rotura de un cristal, la apertura de una puerta, una simple pisada o un objeto en movimiento en una habitación provoquen la apertura o el cierre del circuito de protección.

El *dispositivo de aviso*, la verdadera señal de alarma, sólo se activará cuando el circuito de protección le dé la orden. Algunos dispositivos de aviso pueden ser sonoros, como timbres o sirenas. Otros son silenciosos, y transmiten una señal que únicamente se detecta en una comisaría de policía o en un servicio especial, conectados con los sistemas de seguridad.



sensores de detección de la rotura de cristales de una ventana



sensores que detectan la apertura de una puerta



célula fotoeléctrica que detecta variaciones de luminosidad

La astucia de los ladrones tiene que ser contrarrestada con sistemas de seguridad y alarma cada vez más sofisticados. El paso eventual de personas por las zonas que es necesario vigilar se puede controlar con varios sistemas. Los movimientos sospechosos se pueden seguir a distancia mediante cámaras de televisión (abajo). Los accesos a la zona de seguridad pueden vigilarse con ayuda de sensores eléctricos que activan la alarma si se fuerza una puerta o se rompe una ventana.



El *circuito de control* está formado por el relé, intercalado entre el circuito de protección y el dispositivo de aviso. El *relé* es un tipo de interruptor que, activado por el flujo de corriente que pasa por un circuito, sirve para controlar el flujo de corriente que pasa por otro circuito diferente (como, por ejemplo, el circuito que lleva el dispositivo de aviso). Cuando el circuito de protección se abre o se cierra para dar la señal de alarma, el relé del circuito de control cierra el circuito que activa el dispositivo de aviso. Un interruptor instalado en el circuito de control permite conectar o desconectar el sistema de alarma cuando es necesario.

Los sistemas de seguridad para el interior de locales se basan en principios varios, que generalmente se adaptarán a la aplicación específica que vayan a tener. Las alarmas descritas, utilizadas para puertas y ventanas, pueden adaptarse a los cristales de las vitrinas y a las puertas de armarios y cajas fuertes.
El tránsito no autorizado de personas puede detectarse con sismógrafos o por la interrupción de las barreras de microondas (invisibles para el ojo humano). También los sonar ultrasónicos de onda muy corta pueden poner en evidencia movimientos sospechosos; el mismo resultado se puede obtener utilizando un *radar*. Estos instrumentos son tan sensibles que es necesario regularlos para que no detecten insectos grandes, ratas o el movimiento de una cortina. La alarma, una vez activada por la señal que refleja una presencia extraña, continuará sonando aunque la causa cese.





Sistemas de alarma Las alarmas de protección tienen como misión descubrir la presencia de una persona en un lugar determinado; para ello, están dotadas de sistemas fotoeléctricos, de rayos infrarrojos, de ultrasonidos o de microondas.

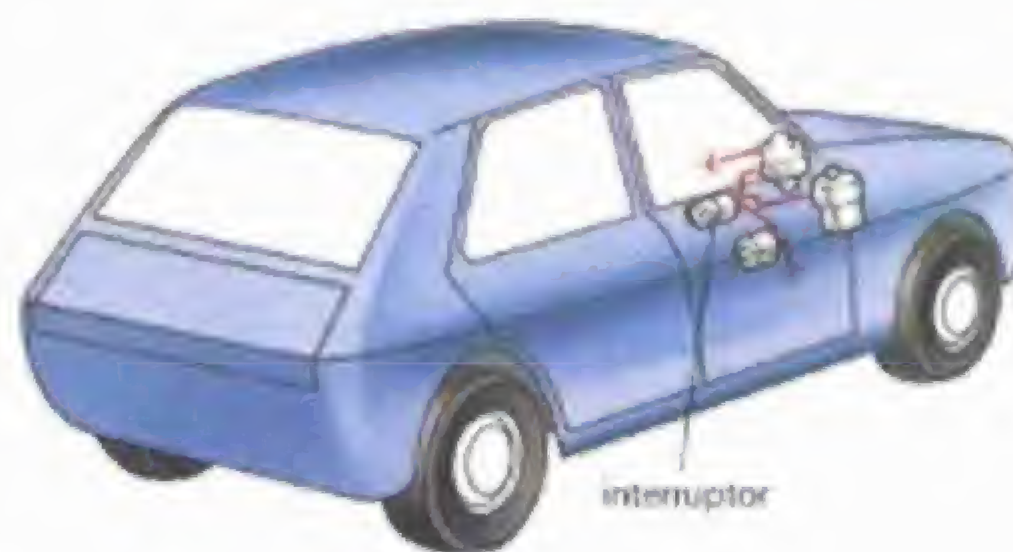
Los *sistemas fotoeléctricos* envían un rayo invisible de luz desde un emisor hasta un receptor. Ambos suelen instalarse sobre los laterales del marco de una puerta o en las paredes de un pasillo por donde el intruso tenga necesariamente que pasar. Mientras no se interfiere el paso del rayo de luz, el circuito de protección permanece cerrado y la alarma, obviamente, no salta.

Los *sistemas de alarma por infrarrojos* están formados por un receptor que capta las emisiones de dichos rayos. Estas emisiones tienen intensidades diferentes según el cuerpo que las produzca. En el caso de las alarmas de infrarrojos, éstas se regulan de manera que puedan detectar las emisiones cuya intensidad corresponde a la de un cuerpo humano. Así, cuando un intruso entra en la zona de seguridad, es detectado inmediatamente.

Los *sistemas de alarma por ultrasonidos* están diseñados para detectar la variación de frecuencia de las ondas sonoras. Estos sistemas de alarma generan ondas ultrasónicas, y después "escuchan" el "eco" producido por el rebote de dichas ondas contra los objetos situados dentro del área protegida. Un objeto que se mueva, provocará, al atravesar el haz de ultrasonidos, una variación de frecuencia de las ondas de dicho haz. Cada sistema de alarma por ultrasonidos está diseñado para poder captar las pequeñas variaciones de frecuencia de las ondas sonoras que emite y accionar la alarma cuando detecte dicho cambio.

Mientras que las alarmas por ultrasonidos emplean ondas sonoras de alta frecuencia, las de *microondas* trabajan con ondas electromagnéticas de frecuencia muy superior a la de las ondas de radio, que, al chocar contra paredes, suelos y objetos, rebotan como los ultrasonidos. Además, varía ligeramente la frecuencia de tales ondas cuando rebotan al chocar contra objetos en movimiento, como sucede con las ondas ultrasónicas. La alarma por microondas se acciona al advertir dicho cambio.

Véase **Microondas; Ultrasonidos**





Existen varios sistemas antirrobo destinados a limitar, frustrar o retrasar las tentativas de robo del automóvil o de alguna de sus partes. En el recuadro podemos ver: arriba, un sistema antirrobo eléctrico dotado de un interruptor que corta la corriente a la bobina; y, debajo, un sistema que, mediante sensores de movimiento, acciona una sirena o una bocina. En otros tipos de sensores la acción es, simultáneamente, acústica y bloqueante.

Albufera

La palabra *albufera* procede de la árabe "al-buháira", que significa "pequeña mar". Hoy se utiliza para designar las lagunas costeras formadas en playas bajas, debido, en la mayoría de los casos, a la deposición de cordones litorales por la acción del oleaje y de las corrientes marinas que cierran el acceso de antiguas bahías.

Formación de las albuferas Un factor importante en la génesis de las albuferas es la pendiente de la costa y su prolongación dentro del mar. Si es suave, como sucede cuando el fondo de un ancho valle se convierte en bahía por inmersión, las olas provocan la formación de *playas de barrera* o *restingas de sedimento*, llevando materiales del fondo del mar y depositándolos más arriba hasta formar una *barra*, llamada "de mar abierto", que puede unirse a la costa por dos cabos, delimitando espacios lagunares. Es el caso de las muchas lagunas sitas en la costa atlántica de Norteamérica y en el golfo de México.

Las restingas pueden formarse también por arrastre de los sedimentos por el litoral, bien por deriva de la playa, debida principalmente a la acción de las olas oblicuas, bien por deriva litoral, es decir, por el transporte de materiales debido a corrientes paralelas a la costa.

Si se producen derivas activas en costas festoneadas, se forman *flechas* o cordones litorales, con mayor facilidad en los deltas de grandes ríos, puesto que estos contribuirán con su aporte a la formación de dichas barreras. Donde la costa forma una curva o un entrante, como la entrada de una bahía, los materiales son desplazados en línea recta por las olas y las corrientes, depositándose parte de dichos materiales hasta formar un banco de arena. Este va creciendo en altura por la aportación de nuevos materiales, formando un cordón que surge por encima del nivel del mar, en continuidad con la orilla de la cual proceden los materiales que han contribuido a su formación. Si este cordón termina en aguas libres, se denomina "flecha", que sigue creciendo longitudinalmente. Las olas de temporal arrojan materiales al lado protegido, de manera que, en muchos casos, las "flechas" se curvan hacia la costa. La "flecha" adquiere entonces forma de "gancho", en cuyo modelado intervienen otros muchos factores, como el viento, las olas y las corrientes dominantes. Finalmente, la flecha puede acabar adhiriéndose a la costa por su extremo libre, cerrando una albufera.

Algunas lagunas costeras tienen otros orígenes: por ejemplo, algunas son los restos de una depresión costera que se hunde, o el centro de un atolón coralino.

Aguas salobres El agua de las albuferas es salobre, es decir, agua de mar más o menos diluida con agua dulce. Las albuferas tienen una comunicación con el mar, siempre precaria, en la que hay un flujo de agua hacia el mar, vertiéndose el exceso de agua de la laguna, exceso que se produce por las aportaciones de agua dulce que afluyen a ella desde los ríos, ramblas, torrentes y acequias, además del aporte procedente de fuentes artesianas o manantiales subacuáticos, que abundan en el litoral, en especial si está delimitado por promontorios o relieves más o menos carstificados. En general, después de su formación, las albuferas se van haciendo más dulces con el paso del tiempo. La intervención humana también actúa en este sentido, puesto que tiende a regular la comunicación con el mar para embalsar agua dulce.



S. Peiró

Las albuferas son lagunas, generalmente de poca profundidad, rodeadas de una vegetación litoral de carrizos, que también forman "matas", a modo de pequeñas islas, en su interior. En las zonas que circundan a las albuferas es frecuente la existencia de arrozales, que ocupan áreas "rellenadas artificialmente", y cuya inundación periódica se regula cerrando y abriendo las compuertas que comunican la albufera con el mar.



S. Peiró

La fotografía recoge una imagen de una albufera en la que se han instalado artes fijas de pesca para la captura de los peces en sus viajes periódicos de la albufera al mar y del mar a la albufera. Esas artes, además, son utilizadas por las aves (en la imagen, gaviotas) como lugar de descanso. En el esquema de las páginas 124/125 se recogen algunas de las especies que tienen su hábitat en las aguas de la albufera de Valencia, en la que la pesca se practica también desde unas embarcaciones que se accionan con largas varas denominadas "perchas".

Especies más frecuentes en las albuferas Las aguas salobres representan un medio biológico sumamente diferenciado, que ocupa un lugar intermedio entre el agua de mar y el agua dulce, procediendo su población de ambas. Por ello, el agua salobre es un mundo rico en especies, muchas de ellas características de este medio. Así, por ejemplo, en las albuferas, y en las acequias de riego que de ellas derivan, existe una serie de especies de un interés biogeográfico extraordinario. En las albuferas del Levante español, por ejemplo, habitan endemismos (especies animales o vegetales que habitan únicamente en un lugar determinado) claramente diferenciados y especies de distribución discontinua cuyos parientes más próximos se encuentran muy alejados: en el Este (Región Pontocáspica) y en el Sur (Norte de Africa). En este caso están los pequeños peces ciprinodóntidos denominados samarugo (*Valencia hispanica*) y fartet (*Aphanius iberus*), cuyos nombres científicos indican ya su localización. Fuera del litoral mediterráneo español sólo se ha encontrado el primero en alguna localidad griega, y el segundo, en el Norte de Africa. Otras especies de *Aphanius* se encuentran en Arabia y Asia Menor. En Europa central faltan los ciprinodóntidos, aunque se han hallado fósiles de los mismos, de lo que se deduce que son restos de una antigua fauna de peces pequeños adaptados a lagunas litorales. Hay que pensar que la Región Pontocáspica ha sido un foco muy importante de diferenciación de organismos de aguas marinas y organismos de aguas salobres. En el Terciario, el mismo Mediterráneo estuvo una o varias veces seco en gran parte, o reducido a una serie de lagunas saladas, lo que permitió la migración de los organismos de estas aguas desde el Este y el Sur.

No son sólo los peces, sino otros muchos tipos de animales asociados a estas aguas, los que tienen la misma distribución; por ejemplo, los caracoles acuáticos del género *Melanopsis* (denominados así por su coloración oscura), del que existen poblaciones actuales en el Norte de Africa, Este de Europa y en la península Ibérica, siendo fósil en el resto de Europa. El galápago *Clemmys caspica leprosa* es una raza peninsular y del Norte de Africa de una especie que, representada por otras razas, vive en Asia Menor y en los Balcanes. Entre los crustáceos podemos destacar dos endemismos cuya distribución se reduce prácticamente al litoral valenciano: la gambeta, *Palaemonetes zariquieyi*, de origen marino, en las zonas más saladas, y *Dugastella valentina*, también una pequeña quisquilla, en las más dulces.

Además, el medio salobre constituye un hábitat fluctuante que periódicamente ofrece gran cantidad de alimento no consumido directamente por los pobladores estrictos del lugar. Por ello, constituyen importantes áreas de cría o de alimentación para organismos procedentes del mar (crustáceos y peces) y para un buen número de especies de aves. Por ello, en estas zonas existe una tradicional explotación pesquera y son los lugares por excelencia para la caza de patos. En muchas albuferas se capturan las angulas que penetran por los canales de comunicación procedentes del mar, y en estos mismos canales o dentro de las albuferas se pesca con artes fijas los peces que entran en primavera a alimentarse y que retornan al mar en otoño o invierno. También se pescan lisas (*Mugil*) y anguilas; en otros tiempos era económicamente importante en algunas albuferas la pesca de la lubina.

La riqueza ornitológica de estas zonas es proverbial. En la costa mediterránea española, por ejemplo, hacen sus nidos, y crían, colonias de muy diversas aves acuáticas, como garzas, cigüeñas y otras, a la vez que sirve de área de migración en invierno o de paso a un sinnúmero de especies procedentes del norte de Europa. Las sucesivas albuferas son utilizadas por muchos pájaros como línea de conducción durante su migración.

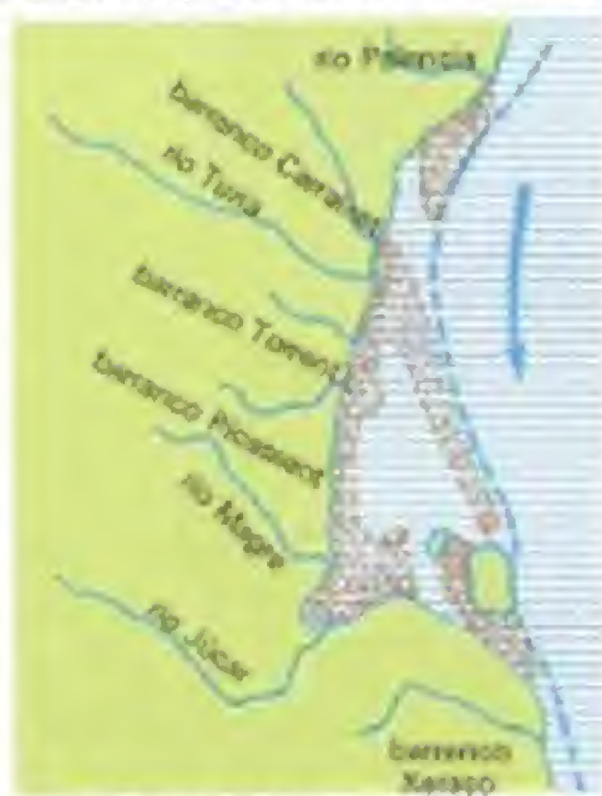
En la actualidad es prácticamente imposible encontrar formas naturales intactas y es precisamente en la evolución de las albuferas donde más se ha hecho notar el impacto del hombre. Paisajes, por lo demás, de equilibrio sumamente precario, que están a merced de numerosos agentes naturales: oscilaciones del nivel del mar, irregularidades en el flujo de agua de los ríos, aterramientos diversos, oleajes, etc., que hacen que la dinámica litoral sea extraordinariamente compleja.

Véase **Arrecifes coralinos; Biología marina**

UNA HIPOTESIS SOBRE LA FORMACION DE LA ALBUFERA DE VALENCIA



I. Cuaternario



II. Epoca ibérica



III. Epoca romana



IV. En la actualidad

Zona de sedimentos — Marjal (arrozal) — Línea de costa actual — Corrientes marinas

(Laborda, 1968)

Desde la Antigüedad, la estrecha faja costera ha soportado una densidad de población humana superior a la de tierra adentro, y actualmente su importancia se incrementa en forma exponencial. En tiempos históricos, estos espacios experimentaron un proceso de desecación para ganar terrenos agrícolas fértiles, con el fin de transformarlos en arrozales. Así, por ejemplo, la albufera de Valencia ocupaba en el siglo XVIII una ancha faja litoral de 8 km de longitud que iba del río Turia al Júcar, presentando una superficie entonces de 13.000 hectáreas. Un aterramiento acelerado para conseguir arrozales determinó que a mediados del siglo XIX se redujera a 8.000 hectáreas, teniendo hoy sólo algo más de 2.000 hectáreas. Sin embargo, esta transformación en arrozal todavía deja un espacio húmedo en ciertas épocas que puede albergar muchas aves y organismos acuáticos. Actualmente, los problemas son otros:
1) la concentración de industrias en la costa, que requieren grandes cantidades de agua para lavado, refrigeración, etc., y que luego la vierten con diversos productos, la mayoría tóxicos;
2) la construcción de embalses río arriba que restringen el flujo en la zona del delta;
3) el establecimiento de grandes núcleos urbanos cuyas aguas residuales se vierten en las albuferas, agravado por la extraordinaria velocidad del proceso de ocupación del espacio litoral por el turismo y segundas viviendas.
En la costa mediterránea hispano-francesa, por ejemplo, donde existía un rosario de albuferas y zonas húmedas que enlazaban la Camarga con las marismas del Guadalquivir, no quedan más que unos pocos reductos y, en general, muy contaminados.
La desnaturalización de estos ambientes es tan considerable, que ya no es posible abordar el problema desde el punto de vista del impacto del hombre en una localidad o en una especie amenazada. Muchas especies animales se desplazan por estas áreas, que actúan como islas donde las especies migratorias reponen fuerzas y las residentes encuentran sus últimos refugios. La conservación de estos ambientes debe plantearse como un problema de recuperación de todo el conjunto de lagunas litorales dentro de una amplia perspectiva de planificación territorial.

INVERNALES Y EN PASO	gaviotas	tordo común tordo malviz petirrojo		bisbitas combatientes avefrías	zarapitos agujas rascón polluelas	becacinas archibebes rascón polluelas	mosquiteros carricerines escribanos	gaviota reidora gaviota plateada pato colorado cerceta carretona cerceta común ánades
ESTIVALES Y NIDIFICANTES	chorlitos	mirlo gorrión común escribanos trigueros carboneros alcaudón común ruiseñor mochuelo tórtola cuco	CARRETERA DE VALENCIA-PERELLO	trigueros	carriceros mosquiteros	ánade real pato colorado lavanderas	carricerín carricero tordal carricero común bigotudo polla de agua focha común avetorillo buitrón	pato colorado ánade real
ICTIOFAUNA								carpas llobarro anguila lisa
BIOTOPOS	DUNAS COSTERAS ZONA TAMPON	PINAR DEGRADADO *Pinus* *Nerium* *Cistus*		ZONA HIDROFILA *Ranunculus*	ZONA IMPACTOS *Phragmites* *Tipha* *Cyperus*	JUNCALES *J. acutus* *J. maritimus* *Scirpus lacustris*	ZONA GRAMINEAS *Phragmites* *Arundo* *Claudium*	





AGUAS PROFUNDAS	ZONA ISLAS Y MATAS	VEGETACION FLOTANTE	PRADERIAS DE FONDO	LIMOS Y AGUAS POCO PROFUNDAS	CANALES CIRCUNDANTES
	garza real garcilla bueyera	fochas y anátidas en general	porrón común porrón moñudo pato colorado	rascón polluelas	zampullines
	garza imperial } colonia garcilla blanca } colonia garcilla bueyera } colonia garcilla cangrejera } colonia martinete } colonia aguilucho lagunero bigotudo carriceros	fumareles charranes		somormujo lavanco focha avetorillo polla de agua	buitrón carriceros focha
		llisa fartet samaruch carpín			fartet samaruch gambusia
	Phragmites — *Tipha*		*Myriophylum* *Chara*	*Potamogetum* *Rhizoclonium*	*Typha, Iris* *Scirpus*

Alcaloides

Mucho antes del comienzo de los tiempos históricos, los hombres experimentaban con los materiales que encontraban en su entorno. El reino vegetal ofrecía sin duda las mayores posibilidades, y paulatinamente el hombre llegó a la conclusión de que algunos tipos de plantas proporcionaban nutrientes y otros no, pero que muchas de las plantas que no podían emplearse con fines nutritivos podían ser utilizadas con otros fines. De hecho, se ha descubierto que un grupo importante de plantas, alrededor del 10-15% del total de las conocidas, contiene unos compuestos químicos que las dotan de unas características especiales.

Muchas de estas sustancias eran ya conocidas por los antiguos, pero sólo el desarrollo de la Química en los tiempos modernos permitió reagruparlas en un único grupo que se denomina con el término general de *alcaloides*. En realidad, este nombre no hubiera podido serles asignado en épocas anteriores, dado que indica que esas sustancias tienen propiedades alcalinas, es decir, que tienden a neutralizar a los ácidos, y la naturaleza de las reacciones entre los ácidos y las bases no empezó a conocerse hasta los inicios de siglo XIX.

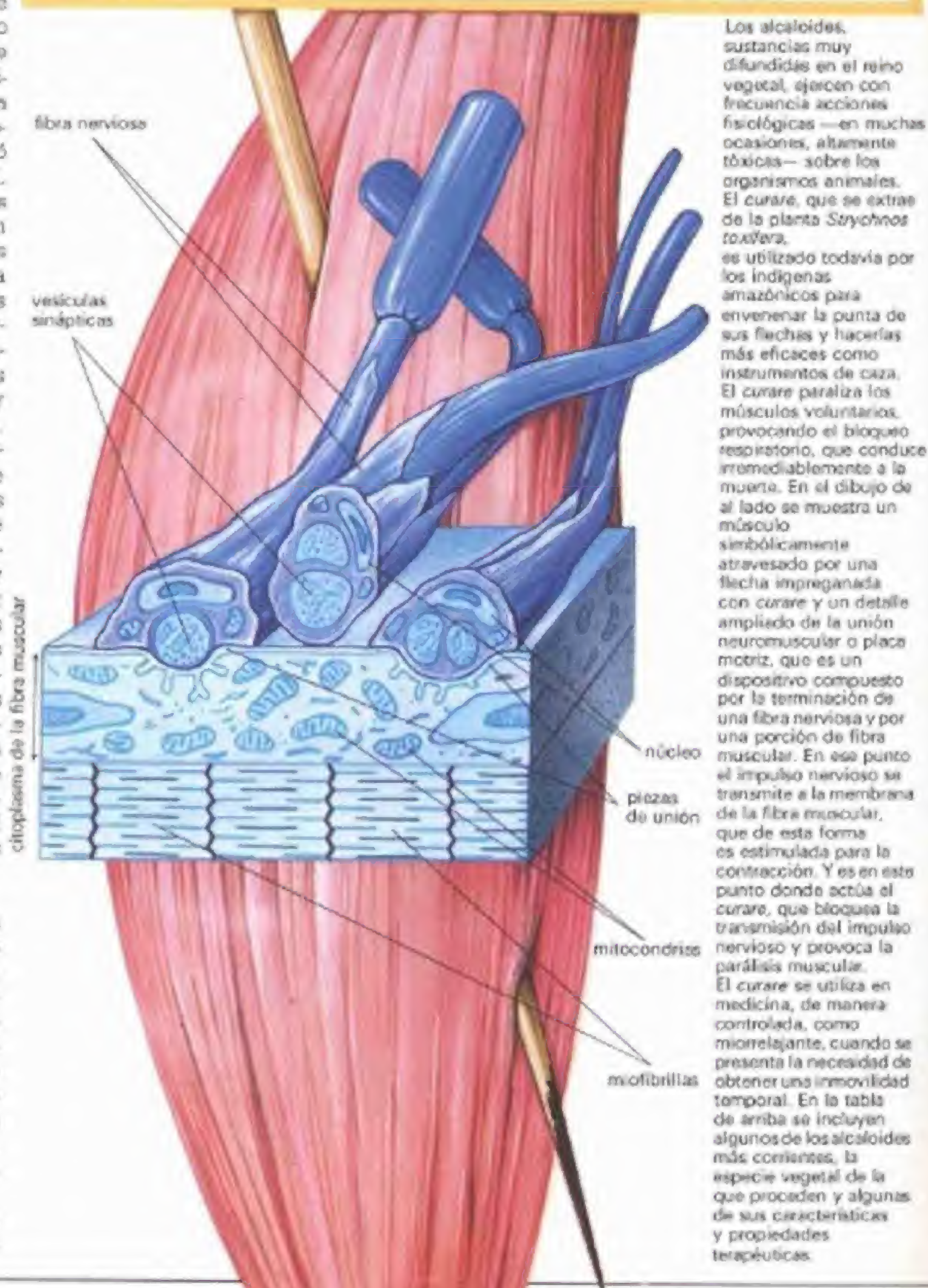
Las características fundamentales de los alcaloides residen en que muchos tienen propiedades medicinales, farmacológicas y psicoactivas. Los alcaloides causan una gama muy variada de efectos: desde los efectos venenosos de la estricnina y la ergotina hasta los alucinógenos de la mescalina y la psilocibina, pasando por los efectos medicinales de la quinina y la efedrina, y los narcóticos de la morfina y la codeína.

Es posible que los alcaloides hayan ejercido efectos desastrosos antes de que se conocieran sus efectos nocivos sobre los animales e incluso sobre el hombre. Uno de estos casos está ejemplificado en los envenenamientos en masa de animales y hombres en la Edad Media originados por la ergotina (hongo que crece sobre granos de cereales y uno de cuyos componentes es el ácido lisérgico, compuesto químico relacionado con el LSD). Estudios recientes parecen indicar que algunas manifestaciones de histeria colectiva ocurridas en la Edad Media fueron provocadas por este componente del hongo. De hecho, los alcaloides tienen una notable relevancia social por el frecuente abuso que se hace de ellos como narcóticos y alucinógenos.

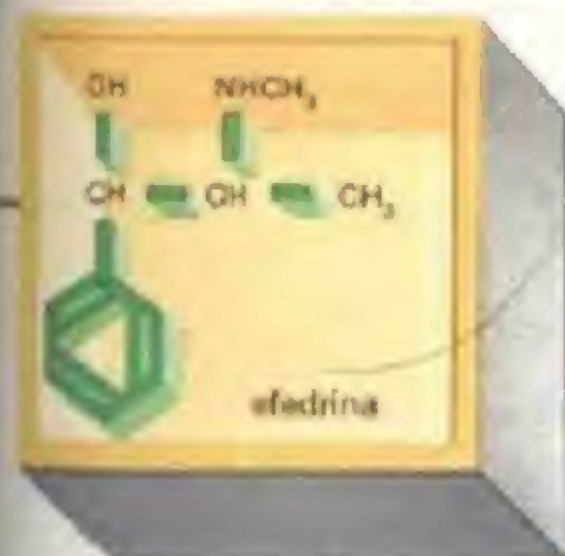
Aplicaciones médicas El aspecto más importante de estas sustancias es el relativo a su aplicación terapéutica: la ergotina, por ejemplo, es la materia prima del producto farmacéutico ergonovina, muy utilizado en obstetricia para provocar la vasoconstricción después del parto. Actualmente, el interés farmacológico de algunos alcaloides ha sido desplazado por diversos medicamentos de síntesis; no obstante, muchos otros mantienen todavía un valor terapéutico indiscutible.

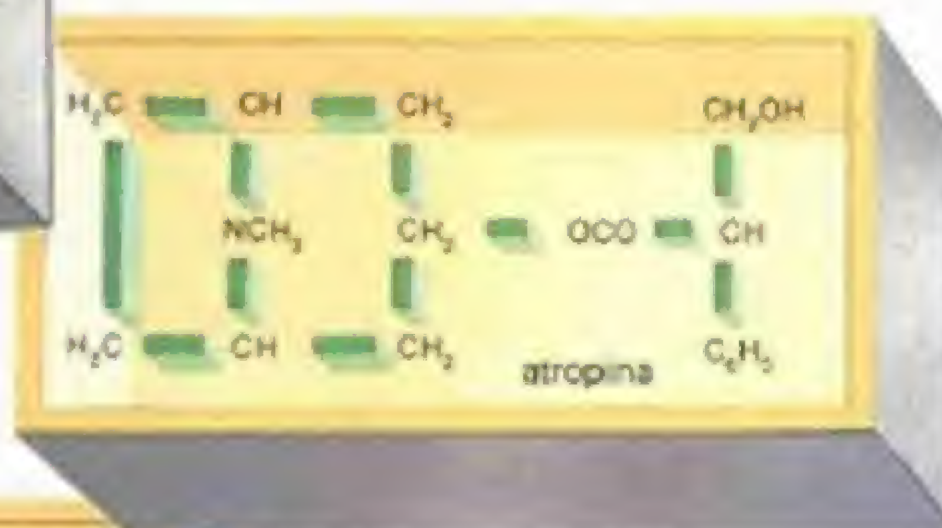
Analgésicos (antidolorosos). La sustancia medicinal más común y eficaz para la elimi-

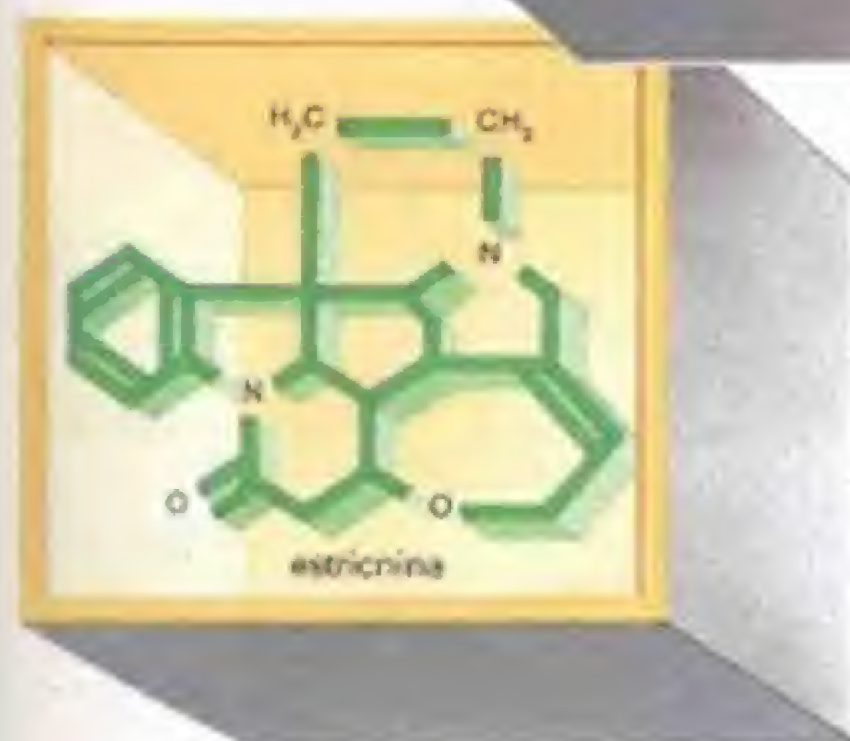
ALCALOIDE	FUENTE PRINCIPAL	FAMILIA	OTRAS CARACTERISTICAS
Atropina	*Atropa belladonna* (belladona)	Solanáceas Rubiáceas	Dilata la pupila, es antiespasmódica y antídoto para venenos de hongos.
Cafeína (teína)	*Coffea arabica, C. liberica* (café) *Thea sinensis* (té) *Ilex paraguariensis* (mate) *Cola acuminata* (cola)	Teáceas Aquifoliáceas Esterculiáceas Esterculiáceas	Estimulante cardíaco y respiratorio; diurético presente en las bebidas extraídas de las hojas o semillas de estas plantas.
Quinina	*Cinchona ledgeriana*	Rubiáceas	Empleada en el tratamiento de la malaria.
Cocaína	*Erythroxylon coca* (coca)	Eritroxiláceas	Paraliza las terminaciones periféricas de los nervios sensitivos; dilata la pupila.
Codeína	*Papaver somniferum* (adormidera)	Papaveráceas	Etermetílico de la morfina; eficaz en el tratamiento de la tos.
Curarina	*Strychnos toxifera* (curare)	Loganiáceas	Empleado en medicina como miorrelajante. Usada en la Amazonía para envenenar flechas.
Morfina	*Papaver somniferum* (adormidera)	Papaveráceas	Narcótico importante que actúa sobre el sistema nervioso central.
Nicotina	*Nicotiana rustica* (tabaco) *Nicotiana tabacum* (tabaco)	Solanáceas	Tóxica para los aparatos cardiovascular, digestivo, y para el sistema nervioso.
Opio	*Papaver somniferum* (adormidera)	Papaveráceas	Mezcla de 25 alcaloides que se extrae del látex desecado de las cápsulas. Incluye peligrosos narcóticos.
Estricnina	*Strychnos nux-vomica*	Loganiáceas	Potente veneno; utilizado en pequeñas cantidades como neuroestimulante.



Los alcaloides, sustancias muy difundidas en el reino vegetal, ejercen con frecuencia acciones fisiológicas —en muchas ocasiones, altamente tóxicas— sobre los organismos animales. El *curare*, que se extrae de la planta *Strychnos toxifera*, es utilizado todavía por los indígenas amazónicos para envenenar la punta de sus flechas y hacerlas más eficaces como instrumentos de caza. El *curare* paraliza los músculos voluntarios, provocando el bloqueo respiratorio, que conduce irremediablemente a la muerte. En el dibujo de al lado se muestra un músculo simbólicamente atravesado por una flecha impregnada con *curare* y un detalle ampliado de la unión neuromuscular o placa motriz, que es un dispositivo compuesto por la terminación de una fibra nerviosa y por una porción de fibra muscular. En ese punto el impulso nervioso se transmite a la membrana de la fibra muscular, que de esta forma es estimulada para la contracción. Y es en este punto donde actúa el *curare*, que bloquea la transmisión del impulso nervioso y provoca la parálisis muscular. El *curare* se utiliza en medicina, de manera controlada, como miorrelajante, cuando se presenta la necesidad de obtener una inmovilidad temporal. En la tabla de arriba se incluyen algunos de los alcaloides más corrientes, la especie vegetal de la que proceden y algunas de sus características y propiedades terapéuticas.







Fórmulas estructurales de efedrina, atropina y estricnina. El estudio de su estructura ha permitido, mediante la introducción de las modificaciones oportunas en las moléculas, obtener sustancias terapéuticas más activas y menos tóxicas que los alcaloides naturales.

nación del dolor es la morfina, un alcaloide que se aísla del opio, procedente del látex desecado de las cápsulas de la adormidera. Este alcaloide sigue siendo muy utilizado hoy día, a pesar del peligro de habituación que crea. Otros dos derivados del opio, la codeína y la heroína, fueron primeramente utilizados como analgésicos potentes y como sustancias curativas de la habituación a la morfina, hasta que se llegó a la conclusión de que la heroína es todavía más peligrosa que la morfina por lo que se refiere a habituación. La heroína está hoy prohibida en la mayoría de los países, incluso para su uso en medicina.

Cardiotónicos. Los alcaloides de la quina, y en particular la quinina, un derivado de la *Cinchona*, se utilizaban para regular el ritmo cardiaco. Los derivados de la *Rauwolfia*, especialmente la reserpina, son hipotensores, por lo que se utilizan para disminuir la presión sanguínea anormalmente elevada (hipertensión).

Estimulantes respiratorios. Entre estos se incluyen la coniína, la citisina, la lobelina y la tan conocida nicotina, que se obtiene del tabaco. Pueden ser muy peligrosos debido a que su efecto suele presentarse seguido de una reacción opuesta, que da lugar en ocasiones a la muerte del paciente por una parada respiratoria o por convulsiones.

Vasoconstrictores. El más conocido es la ergonovina, junto con la efedrina, que posee también propiedades broncodilatadoras. Ambas sustancias son utilizadas para combatir las alteraciones producidas en los resfriados, la sinusitis, la fiebre del heno y el asma bronquial. La efedrina es particularmente eficaz en la recuperación de la presión sanguínea normal en los estados de *shock* (hipotensión).

Dilatadores de la pupila. Se utilizan fundamentalmente en los exámenes oculares y en la cirugía del ojo. Destacan la efedrina, la atropina, la L-hioscina y la cocaína.

Anestésicos locales. El más conocido es la cocaína, aunque debido a los efectos secundarios indeseables que presenta se han desarrollado muchos sustitutivos sintéticos. A pesar de ello, la cocaína sigue utilizándose en medicina.

Relajantes musculares. El más popular es el *curare*, que aún hoy es utilizado por los indios de diversas tribus amazónicas para envenenar sus flechas.

Hay que destacar que, hasta hace poco tiempo, el único tratamiento eficaz contra la malaria estaba basado en el empleo de diversos alcaloides derivados de la quina, especialmente la quinina.

Aplicaciones químicas Los químicos se han visto atraídos hacia el estudio detallado de la composición de los alcaloides, no sólo por su interés científico sino también con la esperanza de mejorar las condiciones de vida de los hombres mediante el desarrollo de sustancias terapéuticas más eficaces. El opio, conocido y utilizado desde tiempos antiquísimos, fue el primer alcaloide estudiado para intentar comprender el secreto de sus mecanismos.

Los primeros alcaloides aislados (probablemente la morfina y la narcotina) fueron descritos en 1803 y 1804. Pero la primera síntesis, es decir, la producción artificial de un alcaloide en el laboratorio, no pudo ser realizada hasta 1886. Se trataba de la coniina, que había sido aislada de los abetos por primera vez unos sesenta años antes.

La síntesis es un proceso muy importante por varias razones. En algunas ocasiones es la única vía que permite probar la precisión de los análisis. En otros casos representa el primer paso para la obtención de nuevas versiones modificadas de los alcaloides originalmente existentes, con la finalidad de encontrar medicamentos exentos de algunos de los efectos secundarios propios de la variedad natural.

A partir del siglo XIX se ha trabajado muy intensamente para tratar de aislar, analizar y sintetizar los alcaloides. Pero no ha sido tarea fácil. La forma sintética de la estricnina, por ejemplo, no pudo conseguirse durante muchos años de intentos.

Los principales componentes de los alcaloides son el nitrógeno, el carbono y el hidrógeno. A pesar de que las más de dos mil especies de alcaloides conocidas presentan moléculas diferentes, todas tienen una característica común: los átomos de carbono se encuentran en una estructura en anillo o cíclica. En concreto, cinco átomos de carbono, a veces cuatro, están unidos entre sí y a un átomo de nitrógeno mediante enlaces sencillos o dobles, y los enlaces restantes del átomo de carbono se saturan con átomos de hidrógeno.

Este hecho puede comprenderse mejor si tratamos de visualizar el componente fundamental de la molécula de alcaloide de la misma forma que lo hacen los químicos, y que es la adoptada en los textos de Química. Una molécula con cinco átomos de carbono y uno de nitrógeno puede ser representada como un hexágono con todos los átomos ocupando sus posiciones respectivas: es decir, cada átomo de nitrógeno unido a uno de hidrógeno y a dos de carbono que forman parte del anillo. Cada uno de los átomos de carbono está unido a su vez a dos átomos de hidrógeno y a dos átomos de carbono. El nitrógeno tiende a formar enlaces con otros dos átomos, el carbono con cuatro, el hidrógeno con uno (estos números representan la valencia del elemento). En consecuencia, este diagrama puede utilizarse, y de hecho se utiliza, para representar el mismo tipo de anillo.

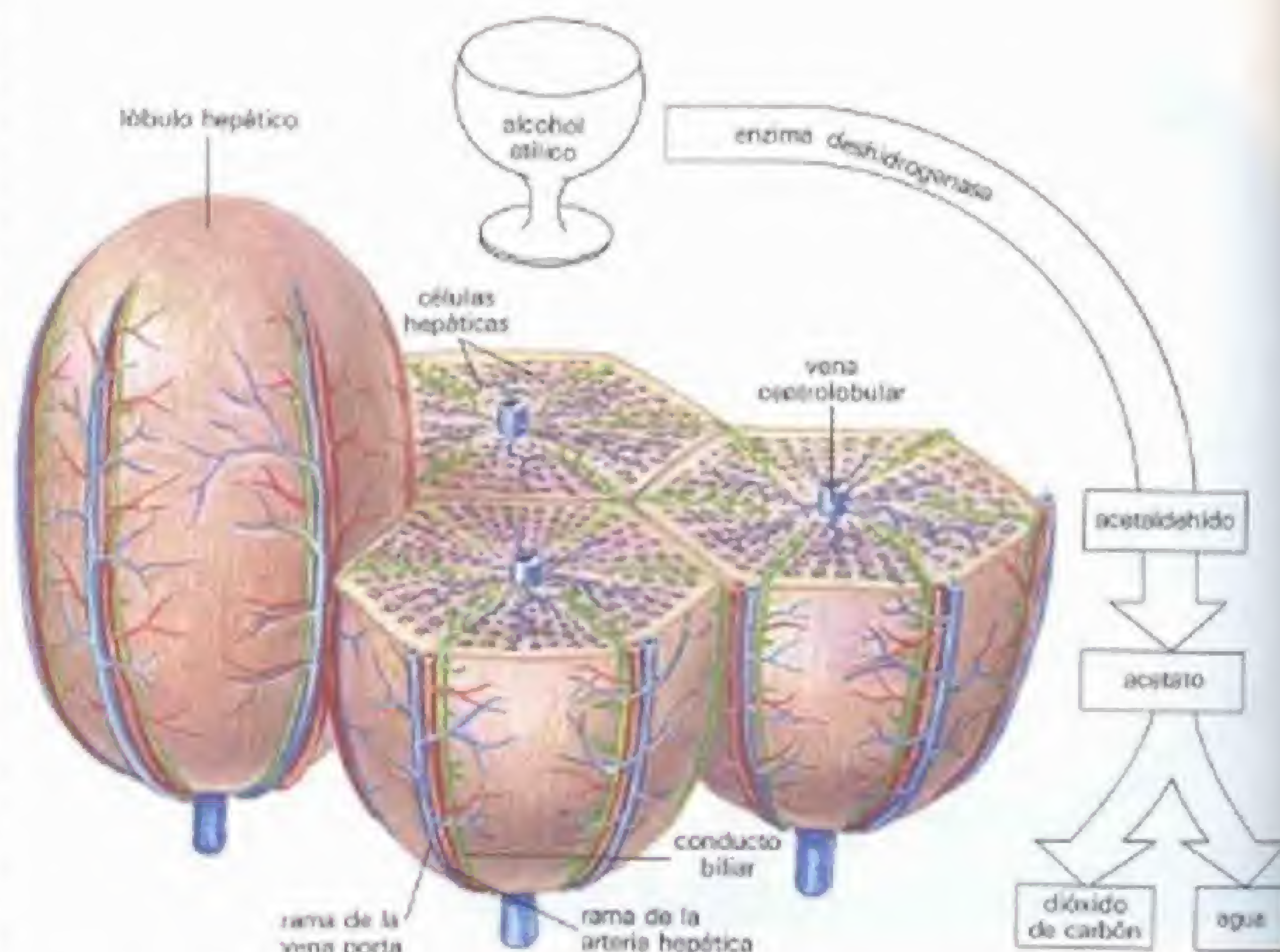
Aplicando el mismo principio, puede representarse una molécula con cuatro átomos de carbono y un átomo de nitrógeno: cada línea de unión, o enlace, significa que dos electrones son compartidos por dos átomos. En ocasiones, otros dos electrones pueden destinarse a ser compartidos por una misma pareja de átomos, por lo que se forma un nuevo enlace entre estos (doble enlace); como consecuencia, se elimina un átomo de hidrógeno de cada uno de los átomos implicados. La primera de estas fórmulas muestra que el átomo de nitrógeno ha formado un doble enlace por una parte y un enlace sencillo por la otra; de esta manera se elimina el átomo de hidrógeno. Cada átomo de carbono forma un doble enlace por una parte y un enlace sencillo por la otra. Esta estructura le permite unirse a un solo átomo de hidrógeno. La estructura de la nicotina contiene todos los elementos comentados. Muchos alcaloides están constituidos por múltiplos y variaciones de estas formas elementales.

La función que los alcaloides desempeñan en las plantas que los producen es todavía hoy un misterio. Dos aspectos que han podido ser demostrados son: que su presencia protege a algunas plantas frente a un número determinado de insectos y que se encuentran en mayor cantidad antes de la formación de las semillas que después. Además, se presentan en concentraciones muy diferentes en las plantas de una misma familia. El hecho de que no sean producidos por el 85-90% de las plantas cuestiona la posibilidad de que tengan una utilidad para las propias plantas. Es evidente que todavía queda mucho por investigar sobre este sugerente tema.

Véase Ácidos y bases; Enlace químico y valencia; Química

Alcohol, consumo de

Los problemas derivados del consumo excesivo de alcohol etílico, o etanol, a través de la bebidas alcohólicas, y el aumento de personas dependientes de esta droga de consumo legal alcanzan unas dimensiones cada vez más preocupantes en el mundo de hoy. Las cifras de muertos por cirrosis hepática —indicador significativo del consumo alcohólico— se elevan alarmantemente y confirman que del uso voluptuoso y ritual se ha pasado a un abuso neurológico, cuyas raíces últimas hay que buscarlas en los condicionamientos sociales.



Las bebidas alcohólicas Las bebidas alcohólicas se obtienen a partir de la fermentación de sustancias vegetales, cuya riqueza en azúcar determina el contenido alcohólico del producto resultante. Así, de la uva se obtiene el vino; de la malta, la cerveza; de la manzana, la sidra; de la cereza, el *kirsch*; de la ciruela, el *slivovitz*, de las bayas de enebro, la ginebra, etc. Otras veces, los vegetales de partida contienen azúcares más complejos que los reseñados, como el almidón. A modo de ejemplo citemos el *whisky*, obtenido a partir de la fermentación de diversos cereales; el vodka, que proviene del trigo o de la patata; el *sake* (bebida nacional japonesa), de la fermentación del arroz, o el ron, producido del mosto de la caña de azúcar fermentado.

Por el procedimiento de elaboración distinguiremos dos grandes grupos de bebidas alcohólicas —*destiladas* y *fermentadas*—, de las disoluciones alcohólicas azucaradas a las que se adicionan aromas particulares (amargos, digestivos, etc.).

La destilación implica la separación de dos o más sustancias —en este caso agua y alcohol— gracias a su punto de ebullición diferente. Las mezclas destiladas contienen, además del alcohol etílico (graduación de 40° a 80°), otros componentes (aldehídos, ésteres, ácidos), responsables del aroma del producto, y ciertos alcoholes tóxicos que, por consiguiente, no pueden superar determinados límites. Estos componentes dañinos abundan en las primeras fracciones del destilado (cabeza) y en las últimas (cola), por lo que para el consumo humano se utilizan sólo las intermedias (corazón).

Los licores tienen, como hemos apuntado, un procedimiento distinto de elaboración: a infusiones de plantas aromáticas en alcohol se le añaden disoluciones azucaradas de concentración variable. La composición de estas bebidas difiere también de unas a otras: el contenido alcohólico suele ser menor (20° a 25°) en los aperitivos que en los licores fuertes y secos (45° a 50°) y la riqueza en sacarina, mayor.

Efectos del alcohol sobre el organismo Se estima que la dosis media diaria tolerable por un adulto sano es de 50 gramos, equivalente a 62 ml de alcohol (4 vasos de vino de 10° aproximadamente). El dióxido de carbono —y por lo tanto las bebidas efervescentes— aumentan la capacidad de absorción intestinal del alcohol. Cuando no se supera la dosis tolerable de alcohol, el organismo lo absorbe y metaboliza sin problemas; de lo contrario, se convierte en un enemigo que mina la salud física y psíquica del individuo.

El camino habitual que sigue el alcohol hasta llegar al torrente sanguíneo tras su ingestión es la absorción por el aparato gastroentérico, especialmente en el primer tramo del intestino delgado. A partir de ahí, la difusión por el organismo es rápida y hay órganos —caso del hígado, riñones y cerebro— que por su textura lo absorben con celeridad y sufren en mayor grado sus efectos tóxicos.

En dosis nocivas, el alcohol inhibe la secreción gástrica y produce una inflamación de la mucosa estomacal. Pero las consecuencias más perniciosas afectan al hígado, órgano metabolizador del alcohol. El exceso en la bebida hace aumentar la cantidad de alcohol en la sangre y sólo permite una metabolización reducida del mismo. De este modo, se acumula grasa en las células hepáticas (esteatosis), hasta degenerar en la cirrosis. Por lo que respecta al aparato cardiovascular, cantidades moderadas de alcohol elevan la frecuencia de las pulsaciones y de la presión sanguínea, mientras que dosis abusivas tienen un efecto depresivo. Desde el punto de vista psíquico, el gran afectado es el sistema nervioso central: a medida que se ingiere alcohol se pasa por una fase de euforia (ligera falta de coordinación motora, disminución de reflejos, capacidad de fijación reducida, locuacidad, pérdida de las inhibiciones) para llegar, si la ingestión es copiosa, a la embriaguez (descoordinación muscular, habla atropellada, inestabilidad emocional, depresión). En casos graves, aparecen náuseas, vómitos, somnolencia, alucinaciones, parálisis e incluso estados de coma. Del mismo modo, el alcohol estimula el deseo sexual, pero reduce la potencia y provoca en el sistema excretor una abundante diuresis.

Qué es y cómo se mide la alcoholemia Vistos los efectos del consumo excesivo de alcohol sobre el individuo (al margen de la dimensión social del problema), la medida de la *alcoholemia* o concentración de alcohol etílico en la sangre (expresada en gramos de alcohol por litro de sangre) se revela como un eficaz instrumento médico, aunque sea más conocida por el gran público por sus implicaciones policiales o judiciales (en infracciones de tráfico, por ejemplo).

Sin embargo, no se puede establecer una relación fija entre los valores alcoholémicos y el grado de intoxicación, puesto que depende de las condiciones específicas del bebedor y de las circunstancias en que se ingirió la bebida. La tasa de alcohol se mide por diferentes métodos: prueba del alcohol, aparato de semiconductores, analizador de aliento o *Breathalyzer*, aparatos que se basan en la cromatografía de gases, etc.

La prueba del alcohol se realiza mediante un globito en el que quien se somete al *test* sopla a través de un tubo. En el interior del mismo hay una ampolla que contiene una mezcla de ácido sulfúrico y bicromato de potasio sobre gel de silicio de color amarillo. El alcohol cambia la coloración de esta mezcla a verde en una longitud proporcional a la cantidad de alcohol conteni-

cerebro

cerebelo

hígado

estómago

duodeno

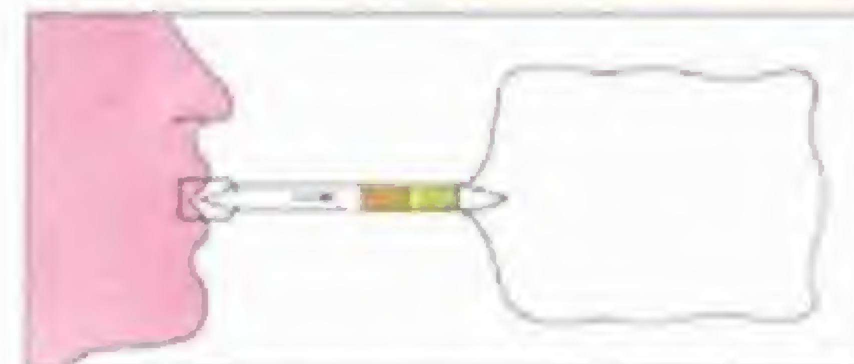
colon

yeyuno

íleon

El alcohol etílico, consumido en cantidades reducidas como un componente más de la alimentación, tiene un efecto tónico sobre el organismo. La absorción del alcohol se verifica sobre todo en el intestino delgado; su metabolismo ocurre en el hígado (del cual vemos, en la página anterior, una representación tridimensional y en sección de los lóbulos hepáticos) por obra de los sistemas enzimáticos, entre los cuales está la alcoholdeshidrogenasa, que transforma las moléculas de alcohol en moléculas de acetaldehído (compuesto muy tóxico) y luego en acetato, hasta llegar a dióxido de carbono y agua. La eliminación y la tolerancia al alcohol varían ampliamente de un individuo a otro, según el régimen de alimentación, la salud y la tolerancia específica de cada individuo (mayor o menor presencia de sistemas enzimáticos en las células hepáticas). Si prolongados abusos de alcohol llegan a dañar, frecuentemente de manera irreversible, la capacidad de funcionamiento del hígado (esteatosis, hepatitis alcohólica, cirrosis), entonces es el sistema nervioso el más afectado: el alcohol, ejerciendo una acción depresiva, manifiesta con mayor fuerza sus efectos citotóxicos, con el consiguiente decaimiento psicofísico grave del individuo en casos de etilismo.





La prueba del alcohol se basa en la presencia del mismo en el aire espirado. El alcohol hace cambiar el color de una mezcla de ácido sulfúrico y de bicromato de potasio (contenida en el tubo conectado al globito) de amarillo a verde. El nivel considerado como límite varía según el país, pero generalmente ronda 1 g de alcohol por litro de sangre; superar este valor indica la presencia de un exceso de alcohol.

da en el aire. Si la prueba es positiva, una pequeña extracción de sangre determinará la alcoholemia exacta.

Otro dispositivo práctico para una primera evaluación alcoholémica es el que se basa en el aumento de la conductividad eléctrica de un semiconductor colocado en un aparato por efecto de la concentración de alcohol en el aliento del individuo examinado. El aumento de la conductividad hace encenderse unas lamparitas en función de la concentración alcohólica.

Más sofisticado es el *Breathalyser*, basado en el poder reductor del alcohol sobre el bicromato de potasio y la consiguiente modificación del color de este último, detectada por una célula fotoeléctrica. El instrumento mide la cantidad de luz que atraviesa la disolución de bicromato de potasio después de haber reaccionado con el aliento y la compara con la cantidad de luz que pasa a través de una disolución de referencia.

Alcoholismo y terapia No existe una definición de alcoholismo en la que los expertos estén de acuerdo, lo cual explica la dificultad para adoptar un tratamiento único. Generalmente se utilizan sustancias que provocan un reflejo condicionado de disgusto o malestar a la ingestión de alcohol, pero sus resultados son bastante dudosos. Mejores resultados están dando los procedimientos psicoterapéuticos, algunos de los cuales se basan en la psicoterapia de grupo, de forma que el paciente puede compartir sus experiencias con otros alcohólicos o ex alcohólicos.

Véase **Alcoholes; Cerveza; Vino**

Alcoholes

La mayoría de la gente suele asociar la palabra alcohol a una sustancia disolvente o a un componente del vino o de la cerveza. La primera, que se extrae de la madera, es extremadamente tóxica, en tanto que el segundo, que se obtiene de la fermentación de los azúcares en las llamadas "bebidas alcohólicas", sólo conduce a estados de intoxicación cuando se ingiere en cantidades significativas. En Química se denominan *alcohol metílico* y *alcohol etílico* respectivamente y constituyen los dos primeros y más sencillos miembros de una larga serie de alcoholes con amplias aplicaciones científicas e industriales.

Dado que algunos alcoholes sólo se congelan a temperaturas extremadamente bajas, se utilizan en la producción de preparados anticongelantes para los radiadores de los automóviles. Otros, con una estructura molecular más compleja, se presentan en forma de líquidos viscosos, como la *glicerina*, o de sólidos, como el *colesterol*, dos compuestos conocidos por todos, pero que popularmente se ignora que son alcoholes.

Todos los tipos de alcoholes tienen dos elementos en común: su estrecha relación con una clase de compuestos químicos orgánicos denominados *hidrocarburos* y la presencia en todos ellos de un grupo funcional formado por un átomo de oxígeno asociado a otro de hidrógeno. Este grupo, o *radical*, actúa, en el campo de las reacciones químicas, como una unidad más que como dos átomos sencillos. En la fórmula del compuesto, este radical, llamado *hidróxilo*, se escribe como OH.

Un *hidrocarburo* es un compuesto químico cuya molécula está constituida exclusivamente por carbono e hidrógeno. Para comprender la naturaleza de los hidrocarburos es necesario familiarizarse con algunos hechos relativos al elemento químico *carbono*. Conocido por la mayoría de la gente en sus dos formas puras de carbón y diamante, el carbono se diferencia del resto de los elementos en que sus átomos son capaces de unirse entre sí formando cadenas de átomos idénticos, algunas de ellas largas; a esos átomos se pueden unir otros elementos u otros radicales, dando lugar a los *compuestos orgánicos*. Estos, que superan en número a los compuestos producidos por todos los demás elementos juntos, se diferencian unos de otros en muchos aspectos.

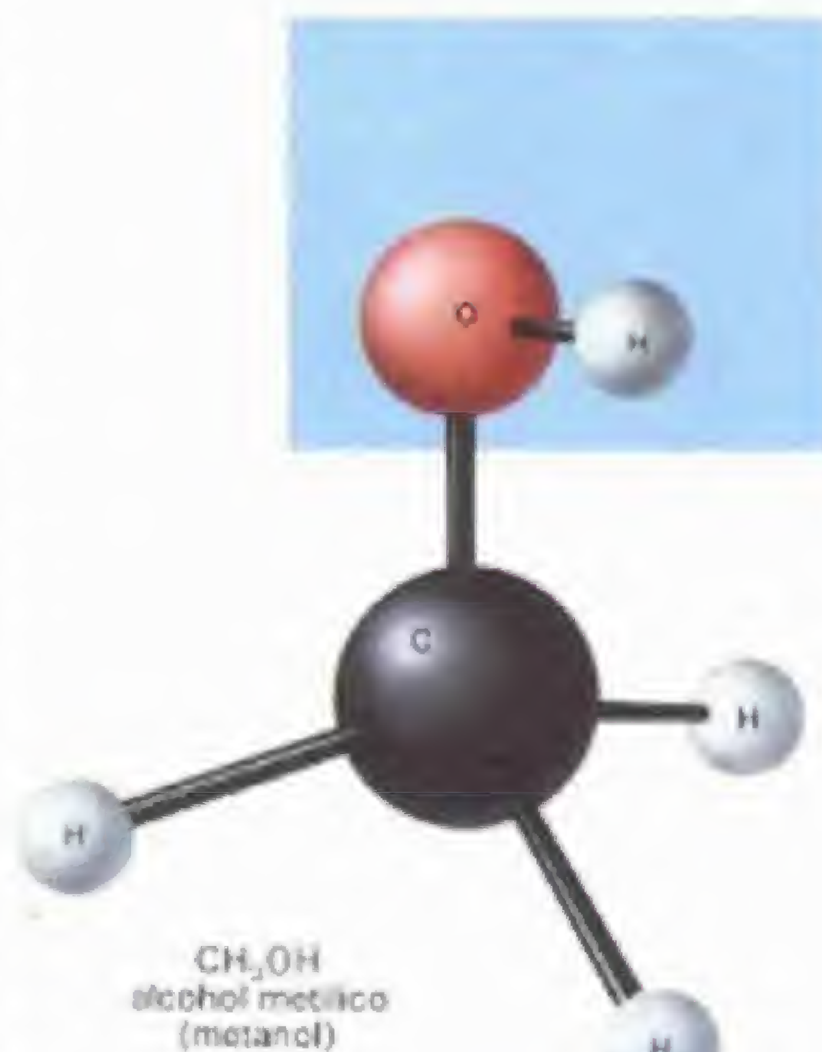
Hidrocarburos saturados Una de las series principales de compuestos orgánicos incluye centenares de compuestos denominados *hidrocarburos saturados*. Cada átomo de carbono presenta cuatro posiciones de enlace a las que pueden "unirse" otros átomos para formar nuevos compuestos. Cuando todos los enlaces no implicados en la formación de la cadena carbonada se unen a átomos de hidrógeno, se dice que el compuesto es *saturado*. Si uno de los átomos de hidrógeno es sustituido por un grupo hidróxilo (OH), se obtiene un alcohol.

La serie de los hidrocarburos saturados

Si en un compuesto orgánico de la familia de los hidrocarburos sustituimos un átomo de hidrógeno H por un grupo OH, hidróxilo, formado por un átomo de hidrógeno H y un átomo de oxígeno O, obtenemos un alcohol. Un alcohol que contenga más de un grupo OH se denomina polihidroxílico: como ejemplos podemos citar el etilenglicol, con dos OH, y la glicerina, con tres. La presencia del grupo OH determina las diferencias que muestran los alcoholes respecto de sus hidrocarburos correspondientes: a temperatura ambiente el metano y el etano son gases, en tanto que los alcoholes metílico y etílico son líquidos. Esto es debido al hecho de que las moléculas de alcohol están más "asociadas" entre sí, gracias a la formación de unos enlaces concretos denominados "de hidrógeno" que se establecen entre los grupos OH.

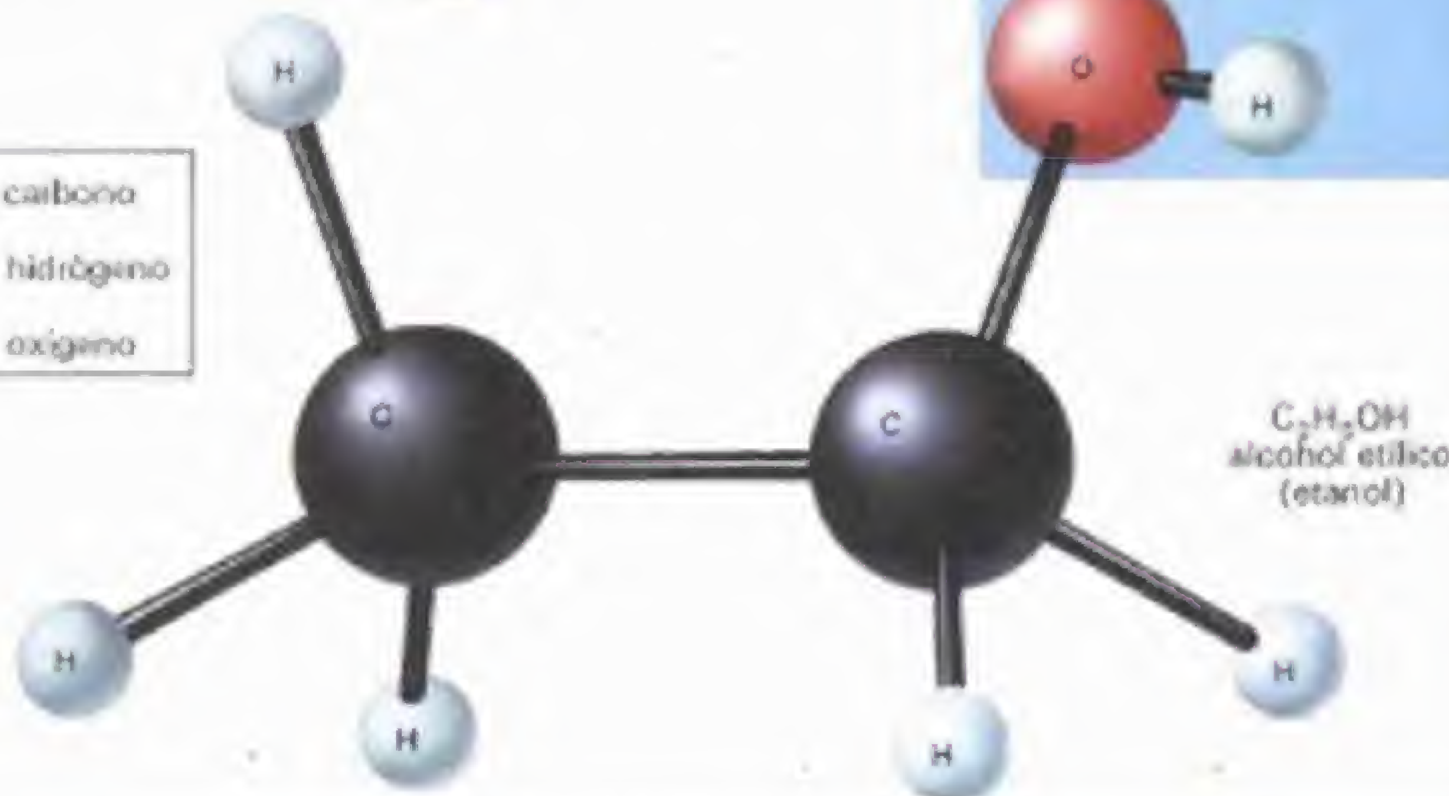
Alcoholes	R—OH	Punto ebullición °C	Solubilidad g/l (H_2O)
metílico (metanol)	CH_3OH	64,5	∞
etílico (etanol)	$CH_3—CH_2—OH$	78,3	∞
n-propílico	$CH_3—CH_2—CH_2OH$	97	∞
n-butílico	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—OH$	118	79
n-pentílico (amílico)	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2OH$	138	23
n-dodecílico (laurílico)	$CH_3—(CH_2)_{10}—CH_2—OH$	–	—
etilenglicol	$CH_2—OH$ / $CH_2—OH$	197	—
glicerina (glicerol)	$CH_2—OH$ / $CH—OH$ / $CH_2—OH$	290	∞
bencílico	—CH_2—OH	205	40
colesterol	CH_3, H_3C, CH_3, H_3C, CH_3, H, OH	—	—

(∞ = en todas las proporciones)



CH_3OH
alcohol metílico
(metanol)

El alcohol metílico y el alcohol etílico se encuentran entre los alcoholes más sencillos, pero, a su vez, también son dos de los alcoholes más importantes. El alcohol metílico, que es un intermediario importante en la producción de aldehído fórmico, puede ser obtenido industrialmente por síntesis a partir del monóxido de carbono, CO, e hidrógeno, H_2, en presencia de catalizadores. El alcohol etílico, que se encuentra en la cerveza y el vino, se forma de manera natural durante la fermentación de sustancias que contienen carbohidratos (azúcares y almidón). Los responsables de estas transformaciones son las levaduras y las bacterias. Mediante la explotación de este proceso puede obtenerse industrialmente alcohol etílico, que es un combustible sustitutivo de la gasolina, a partir de desechos vegetales.



C_2H_5OH
alcohol etílico
(etanol)

es muy regular y simple por lo que se refiere a la estructura de sus componentes. El primero de éstos es el *metano*, principal componente del gas utilizado en las cocinas. El metano está formado por un átomo de carbono unido a cuatro átomos de hidrógeno. Los químicos escriben su *fórmula abreviada* (es decir, la sucesión de los símbolos de los elementos con subíndices que indican el número de átomos de cada elemento que contiene la molécula) como CH_4.

Ya hemos dicho que los alcoholes se obtienen mediante sustitución de uno de los átomos de hidrógeno de un hidrocarburo saturado por un grupo OH, cambiando entonces la denominación del hidrocarburo de base por una terminación *ol*: metano, metanol; etano, etanol; propano, propanol; etcétera.

Los químicos utilizan también la *fórmula estructural* y un tercer tipo de fórmula que puede considerarse como intermedia entre la fórmula abreviada y la fórmula estructural. Este tercer tipo de fórmula ofrece una idea bastante precisa de la forma en que está ensamblada la molécula y la disposición en que se encuentran los diferentes grupos que componen la estructura de la misma. Por ejemplo, de la fórmula abreviada del alcohol etílico, C_2H_5OH, obtenemos CH_3CH_2OH, y de la del alcohol propílico, C_3H_7OH, se obtiene $CH_3CH_2CH_2OH$. Está claro, pues, que la molécula está constituida por un grupo CH_3 seguido de un cierto número de grupos CH_2 y por un grupo OH.

Algunos tipos de alcoholes constituyen un buen ejemplo del fenómeno conocido como *isomería*. Los *isómeros* son compuestos que, aun teniendo la misma fórmula abreviada, presentan distintas fórmulas estructurales. Cuando un hidrocarburo saturado como el propano acepta un grupo OH para formar un alcohol, el nuevo grupo puede sustituir un hidrógeno terminal o un hidrógeno interno, dando lugar a una de las dos formas posibles de alcohol propílico. Para hablar de estos compuestos, los químicos suelen utilizar los prefijos *n*- (de normal) e *iso*- (de isomérico). Sin embargo, en el lenguaje escrito deben utilizar otros prefijos que fueron establecidos oficialmente en París en 1957 durante la conferencia de la *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC). En esta Conferencia se publicaron todas las normas referentes a la nomenclatura de los compuestos orgánicos, en un intento de que los químicos de todo el mundo utilizaran la misma terminología. Hasta entonces, el primer miembro de la serie de los alcoholes era conocido con varios nombres, entre los que podemos citar el de alcohol de madera, alcohol metílico, carbinol y metanol. El segundo miembro era conocido como alcohol de cereales, etanol o metilcarbinol, una denominación que conduce con frecuencia a la confusión. Como un ejemplo de las decisiones adoptadas por los delegados de la IUPAC, incluimos aquí los nombres oficiales de los cuatro primeros miembros de la serie de los alcoholes: metanol, etanol, propanol (con su isómero 2-propanol), 2-butan-1-ol. El 2 en el 2-propanol significa que, en la fórmula, el grupo OH está unido al segundo átomo de carbono.



Alcoholes polihidroxílicos En algunas ocasiones, en un mismo hidrocarburo se presentan varios grupos OH sustituyendo a átomos de hidrógeno. Los compuestos obtenidos de esta forma se denominan *alcoholes polihidroxílicos*. Un ejemplo de estos lo constituye el *etilenglicol*, que es conocido por ser utilizado como anticongelante en los radiadores de los automóviles. Es un compuesto muy soluble en agua que no corroe el metal de los radiadores. Además, presenta un punto de congelación muy bajo y un punto de ebullición muy elevado, lo que significa que no hierve a las temperaturas ambientales máximas. El compuesto más sencillo con tres grupos OH es el *glicerol*, cuya fórmula es



$$CH_2OH\ CHOH\ CH_2OH,$$

y se obtiene industrialmente como subproducto de la fabricación de grasas y jabones. Se trata de un alcohol denso y viscoso, conocido con el nombre de *glicerina*, y que tiene múltiples aplicaciones además de las corrientemente conocidas de proteger los labios agrietados o la de servir como lágrimas artificiales, utilizadas en las representaciones teatrales.

Los alcoholes son muy utilizados en la industria tanto por sí mismos como en forma de sustancias intermedias para la preparación de otros productos químicos. Los alcoholes inferiores, que derivan a su vez de los primeros miembros de la serie de los hidrocarburos saturados, se utilizan no sólo como componentes de los productos anticongelantes para automóviles, sino también como disolventes y como agentes que facilitan la separación de los componentes individuales de otras sustancias.

Los alcoholes inferiores, es decir, los que no tienen más de tres átomos de carbono en la cadena, son solubles en agua, y todos los alcoholes monohidroxílicos —es decir, los que tienen un solo grupo OH— son solubles en los disolventes orgánicos. Los que presentan menos de 12 átomos de carbono en su cadena son líquidos a temperatura ambiente, y los que poseen 12 o más son sólidos. Algunos alcoholes con un gran número de átomos de carbono en su cadena son muy complejos y suelen ser sólidos a temperatura ambiente. Este es el caso de los *esteroles*, entre los que se encuentra el colesterol, que pueden alterar el estado de salud de un individuo si la asimilación y la eliminación de los mismos no están equilibradas adecuadamente.

Reacción de los alcoholes con los ácidos El producto de una reacción de condensación entre un ácido y un alcohol se conoce con el nombre de *éster*. Uno de los ejemplos más sencillos lo constituye la reacción entre ácido acético y etanol (alcohol etílico), cuyo producto final es un éster, el acetato de etilo, y agua. El acetato de etilo se utiliza como disolvente. Si se hace reaccionar el ácido acético con el metanol, el producto es el acetato de metilo, que es un éster de olor intenso utilizado industrialmente en la fabricación de perfumes.

Las grasas y los aceites comunes están formados por mezclas de ésteres derivados de la condensación entre la glicerina y una serie de ácidos orgánicos pertenecientes a la familia de los ácidos grasos, entre los que destacan como más conocidos el esteárico, palmítico, linoleico y oleico.

Véase **Acidos y bases; Biomasa; Carbono; Enlace químico y valencia; Estereoquímica; Grasas; Química orgánica**

Aldehídos y cetonas

El ciempiés (*Apheloria corrugata*), ese pequeño animal de cuerpo alargado y multitud de patas, tiene una interesante forma de desembarazarse de sus enemigos. Cuando se ve en apuros, inyecta un tipo de proteína (un enzima) en una bolsa existente en su cuerpo; el enzima da inicio a un proceso químico en el cual se forma una sustancia denominada *benzaldehído cianhídrico*, que se descompone inmediatamente en dos productos: uno inocuo, el benzaldehído, y otro letal, el ácido cianhídrico (que es el gas venenoso liberado por las "bolitas de cianuro" que todavía utilizan algunos Estados para la ejecución de los condenados a muerte). El ciempiés orienta su cuerpo dirigiendo la bolsa hacia su "enemigo" y expulsa el ácido cianhídrico, que puede matar instantáneamente a un animal pequeño. El benzaldehído, por su parte, es también el compuesto del que se obtiene la vainillina, que se utiliza en la industria alimentaria para obtener el aroma propio del helado de vainilla. El benzaldehído pertenece a un grupo de compuestos químicos denominados *aldehídos*, denominación que procede del latín medieval "alcohol *dehydrogenatus*", alcohol deshidrogenado, y hace referencia a que aquéllos se obtienen al eliminar algunos átomos de hidrógeno en los alcoholes.

Los aldehídos y un grupo de compuestos similares denominados *cetonas* se caracterizan por la presencia de un radical constituido por un átomo de carbono unido mediante un doble enlace a otro de oxígeno, denominado *grupo carbonilo* (C=O).

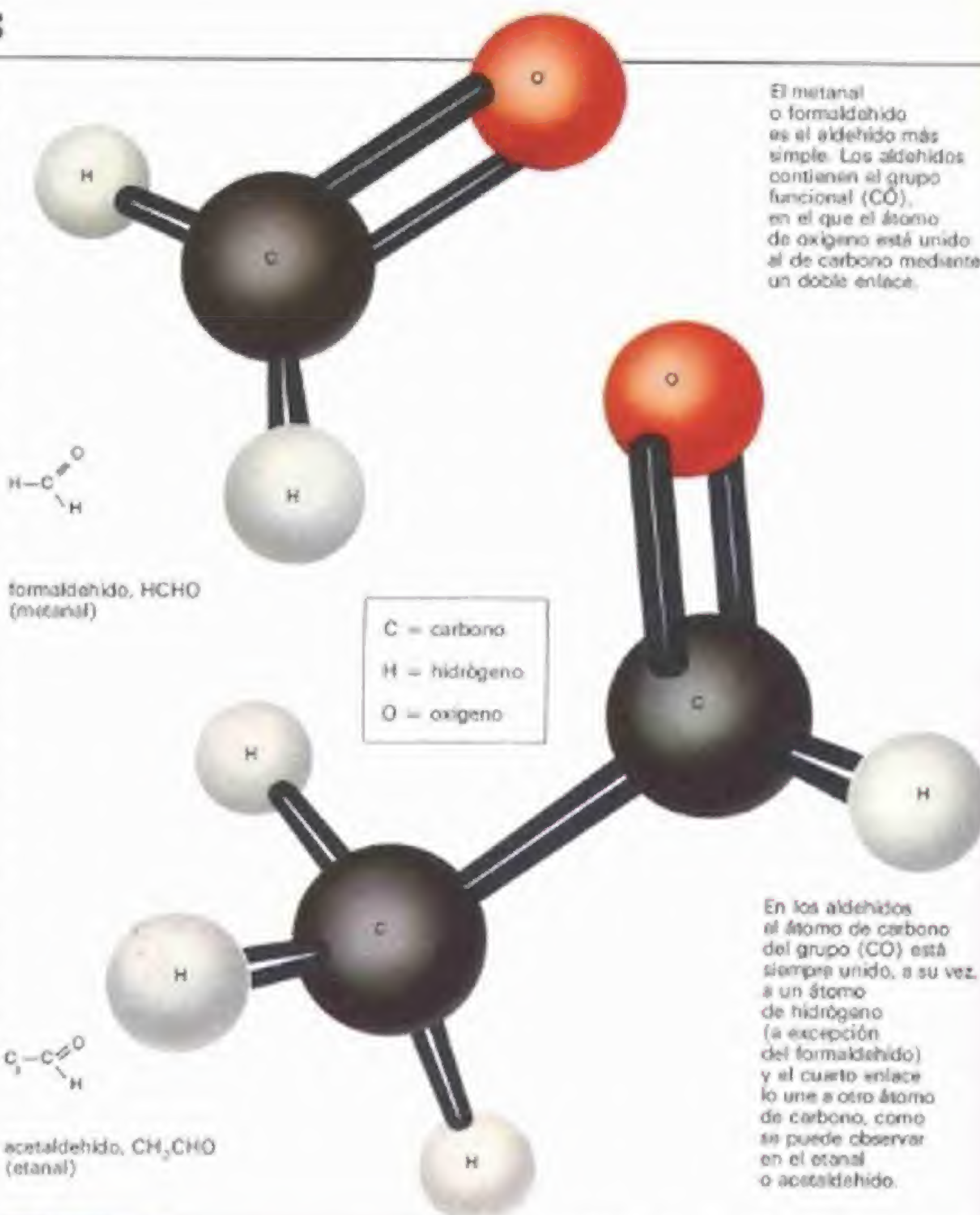
En los aldehídos, al menos uno de los enlaces del carbono no unido al oxígeno está unido al hidrógeno, mientras que en las cetonas están ambos enlaces de carbono unidos a otros grupos. Los aldehídos se representan mediante la fórmula R-CO-H, y las cetonas mediante la fórmula R-CO-R', donde R y R' son residuos orgánicos denominados *radicales*. En los hidrocarburos no cíclicos cada átomo de carbono está unido a dos de hidrógeno, a excepción de los átomos de carbono de los extremos de la cadena, que están unidos a tres átomos de hidrógeno. Por ejemplo, cuando cuatro átomos de carbono se unen con diez de hidrógeno se forma el gas butano (el butano es el hidrocarburo utilizado en casi todos los encendedores y en las cocinas de muchos hogares).

Si dos átomos de hidrógeno en las posiciones terminales de la cadena se sustituyen por un átomo de oxígeno, el compuesto resultante es un aldehído denominado *butanal* (nótese que la *o* final de *butano* es sustituida por el sufijo *al*).

Si el átomo de carbono que se une al átomo de oxígeno no está unido a un átomo de hidrógeno o, lo que es lo mismo, el átomo de carbono está unido a otro de oxígeno y a otros dos de carbono, el compuesto es una cetona. Y, de la misma forma que todos los aldehídos tienen la terminación en *-al*, todas las cetonas tienen su terminación en *-ona*.

El aldehído más simple es el *metanal*. Deriva del hidrocarburo más sencillo, el metano, y es universalmente conocido por la denominación común de *formaldehído*. El formaldehído es un gas a temperatura ambiente, siendo muy usado en la fabricación de resinas sintéticas (fenólicas, ureicas, melamínicas); en el comercio se distribuye en solución acuosa denominada *formol*, que, por sus propiedades antisépticas, se usa como conservante de los preparados anatómicos.

El *etanal*, el segundo de los aldehídos (correspondiente al hidrocarburo etano), es también conocido con el nombre común de *acetaldehído*. El uso más importante de este compuesto en la industria es como producto intermedio en la fabricación de ácido



El metanal o formaldehído es el aldehído más simple. Los aldehídos contienen el grupo funcional (CO), en el que el átomo de oxígeno está unido al de carbono mediante un doble enlace.

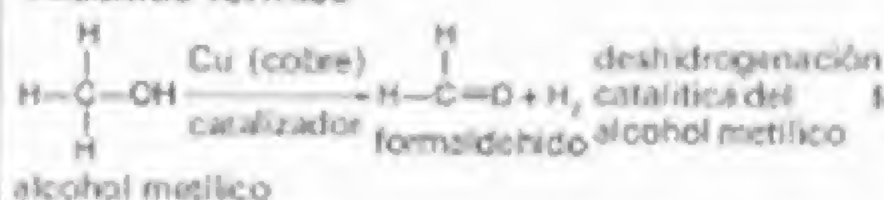
En los aldehídos el átomo de carbono del grupo (CO) está siempre unido, a su vez, a un átomo de hidrógeno (a excepción del formaldehído) y el cuarto enlace lo une a otro átomo de carbono, como se puede observar en el etanal o acetaldehído.

ALDEHIDOS

aldehído	R—C(=O)—H
aldehído FORMICO	H—C(=O)—H
aldehído ACETICO	CH_3—C(=O)—H
aldehído PROPIONICO	CH_3—CH_2—C(=O)—H
aldehído BUTIRICO	CH_3—CH_2—CH_2—C(=O)—H
aldehído BENZALDEHIDO	C_6H_5—C(=O)—H

SINTESIS INDUSTRIAL

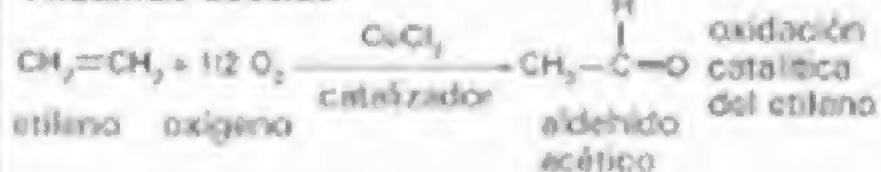
Aldehído fórmico



Usos

formaldehído +
- fenol → resinas fenólicas
- urea → resinas melamínicas
- melamina → resina melamínica
- caseína → galalita

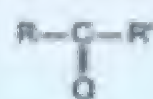
Aldehído acético



Usos

aldehído acético
- preparación del ácido acético
- intermedio para: gomas sintéticas, plastificados, explos. (pentaeritrito), farmacéuticos

CETONAS



acetona



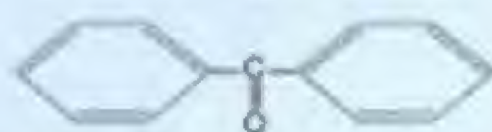
metiletilcetona

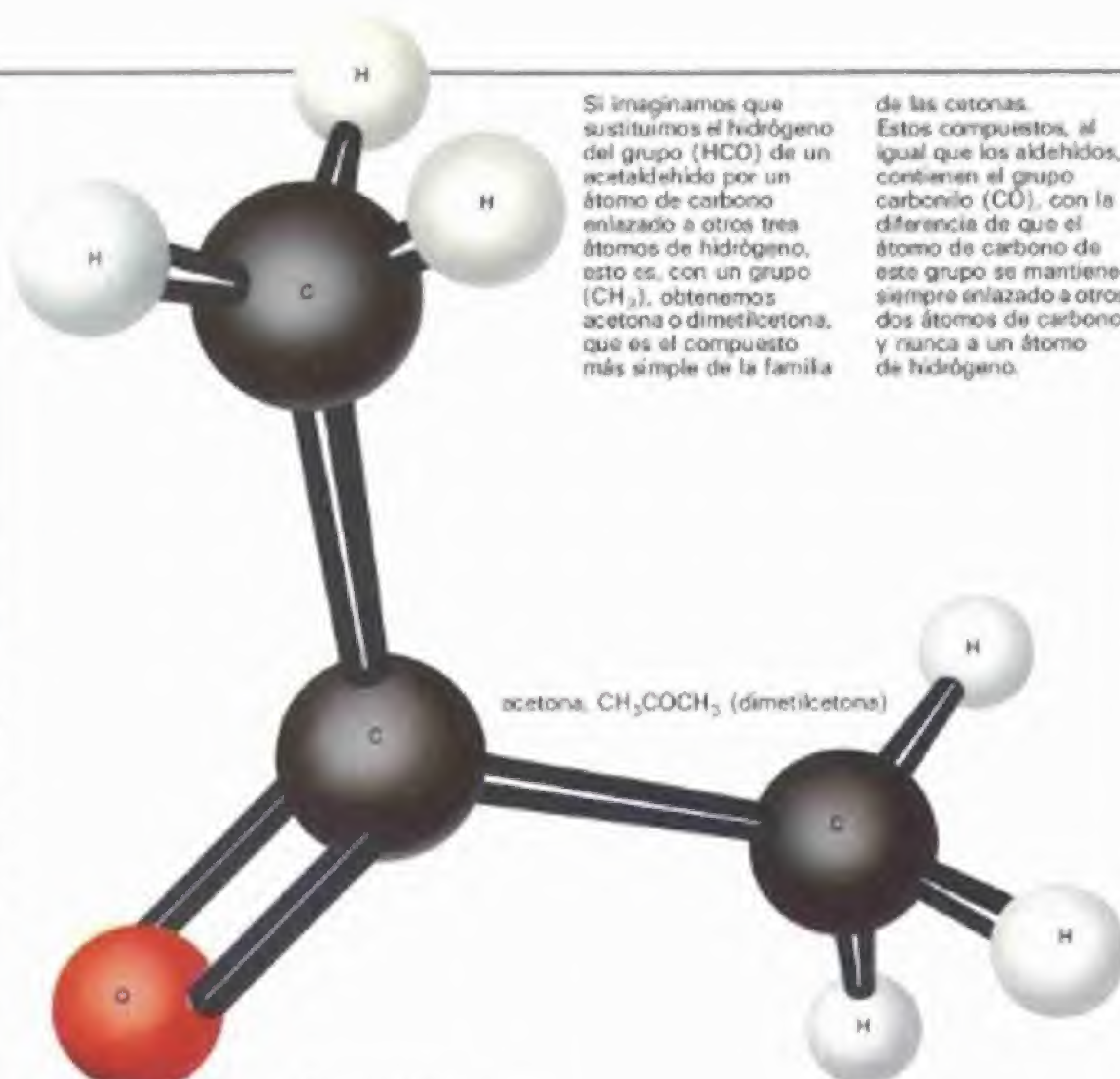


acetofenona



benzofenona





Si imaginamos que sustituimos el hidrógeno del grupo (HCO) de un acetaldehído por un átomo de carbono enlazado a otros tres átomos de hidrógeno, esto es, con un grupo (CH_3), obtenemos acetona o dimetilcetona, que es el compuesto más simple de la familia de las cetonas. Estos compuestos, al igual que los aldehídos, contienen el grupo carbonilo (CO), con la diferencia de que el átomo de carbono de este grupo se mantiene siempre enlazado a otros dos átomos de carbono y nunca a un átomo de hidrógeno.

acético. Un polímero del acetaldehído, el metaldehído, es un sólido blanco que arde con mucha regularidad, utilizándose por eso como combustible en los hornillos de campo. Entre los derivados de los acetaldehídos figura el aldehído tricloroacético o *cloral*, con propiedades hipnóticas (el cloral, en su forma hidratada, denominada hidrato de cloral, fue el primer hipnótico sintético introducido en Medicina). El cloral también se utiliza en la preparación de un importante insecticida.

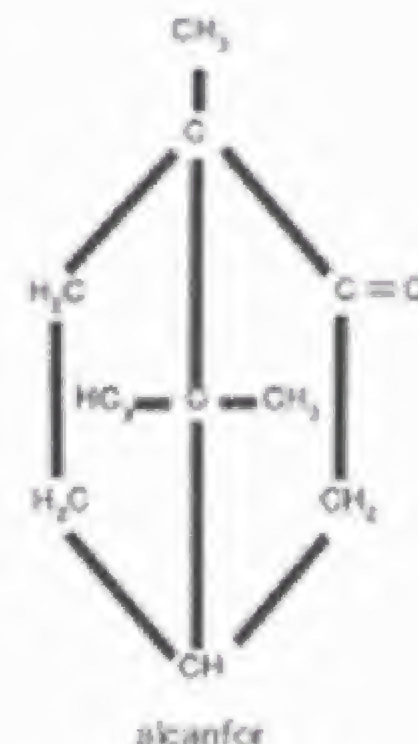
La cetona más simple es la *acetona* y, como tantas otras cetonas, su principal uso es como disolvente o diluyente de barnices; resulta familiar a la mayor parte de las personas como disolvente del esmalte de uñas.

Una cetona más compleja es la sustancia sólida conocida como *alcanfor*, contenida en la planta del mismo nombre (*Laurus camphora*), aunque actualmente se produce mediante síntesis; sus vapores, de un olor penetrante característico, resultan tóxicos a los pequeños insectos, por lo que se usa como insectífugo. También encuentra aplicación en Medicina como analéptico y estimulante de la actividad cardíaca y respiratoria.

Aparte de las aplicaciones de los aldehídos y cetonas mencionados anteriormente, estos dos tipos de compuestos orgánicos son de una importancia vital en la industria química, tanto, que se puede decir que existen muy pocos procesos de producción en el campo de la Química orgánica que no hagan uso de algún compuesto perteneciente a estos dos grupos.

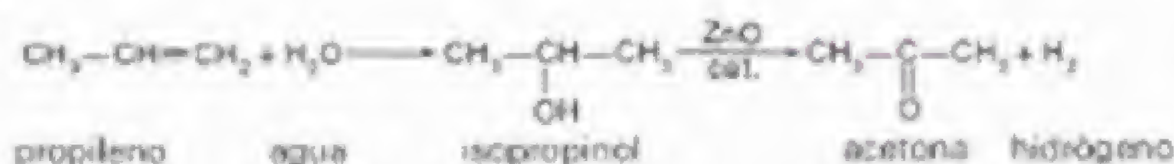
Los aldehídos derivan de los alcoholes primarios, de fórmula $R\text{-}CH_2OH$, mediante eliminación de dos átomos de hidrógeno (deshidrogenación), que en Química equivale a una oxidación. Las cetonas derivan de alcoholes secundarios (R-CHOH-R').

Formaldehído, acetaldehído y acetona revisten una importancia fundamental en la industria química: los dos primeros como productos intermedios, y la tercera, como disolvente. A la derecha, la molécula de alcanfor, una de las cetonas más comunes.



alcanfor

SINTESIS INDUSTRIAL



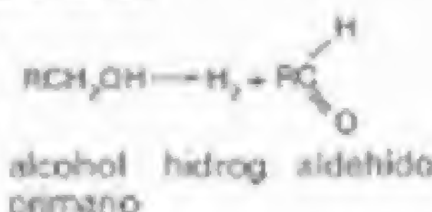
propileno agua isopropinol acetona hidrógeno

Usos

acetona: disolvente; resinas epoxídicas; resinas acrílicas (plexiglás)

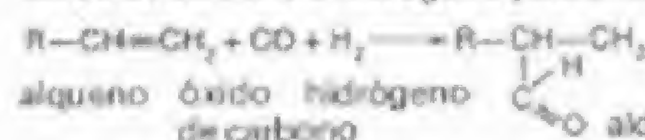
PREPARACION DE LOS ALDEHIDOS

1) Oxidación (deshidrogenación de alcoholes primarios)



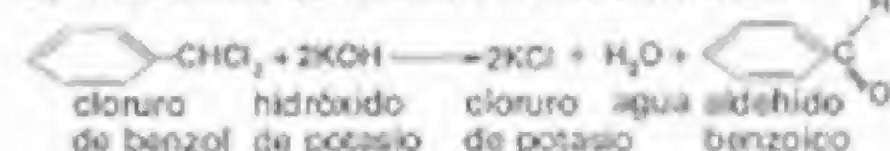
alcohol primario hidrog. aldehído

2) De hidrocarburos no saturados (alquenos) + óxido de carbono e hidrógeno (oxosíntesis)



alqueno óxido de carbono hidrógeno aldehído

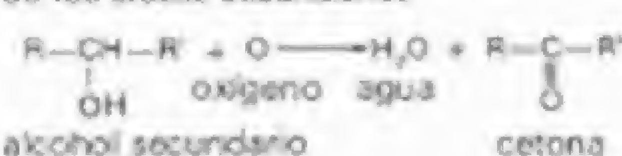
3) Tratamiento con álcalis derivados del cloro



cloruro de benzol hidróxido de potasio cloruro de potasio agua aldehído benzoico

PREPARACION DE LA CETONA

1) Oxidación (deshidrogenación) de los álcalis secundarios



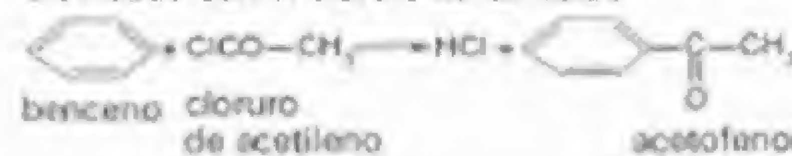
alcohol secundario oxígeno agua cetona

2) Oxidación de hidrocarburos no saturados (alquenos)



alqueno oxígeno cetonas

3) Tratamiento de un hidrocarburo aromático con el cloruro de un ácido

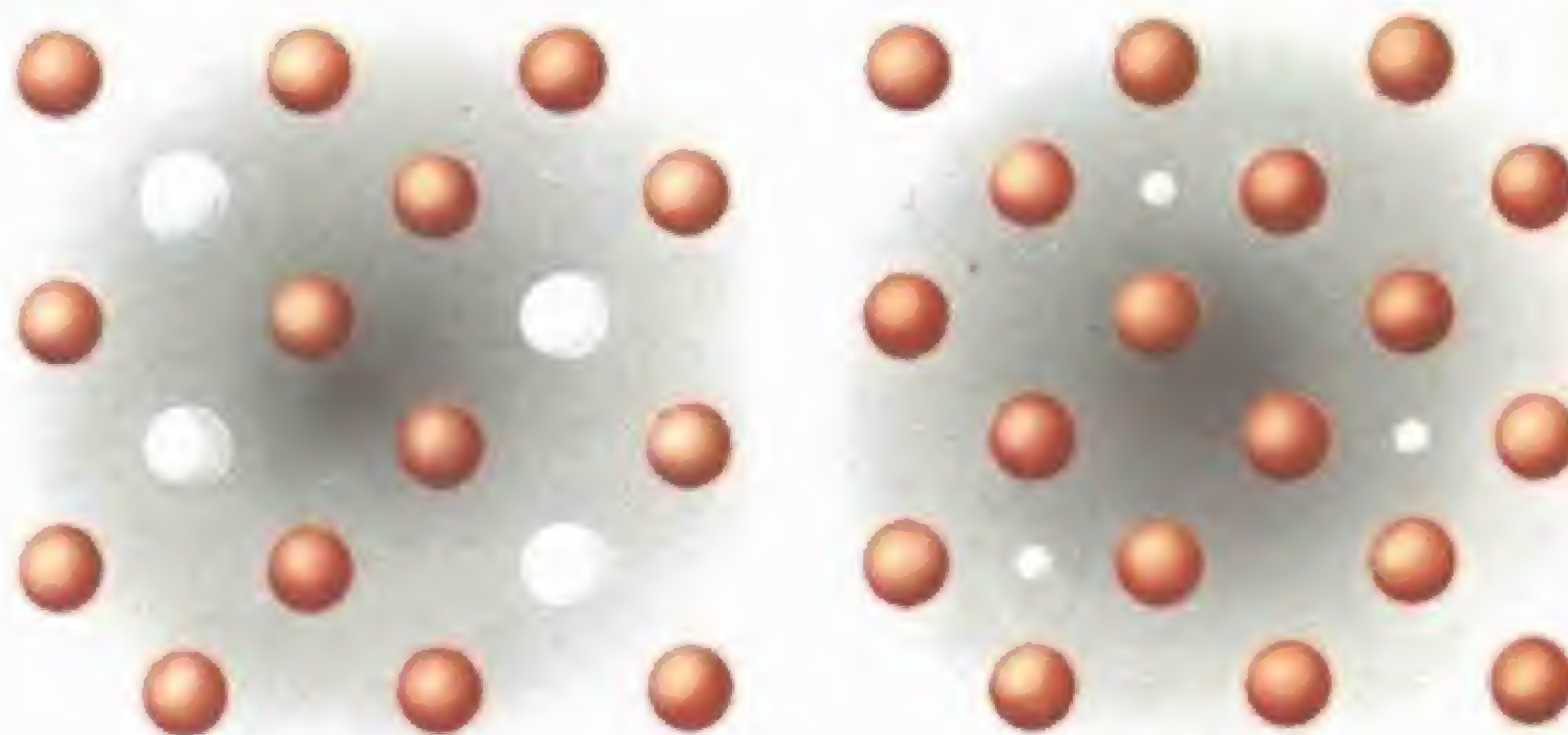


benceno cloruro de acetileno acetofenona

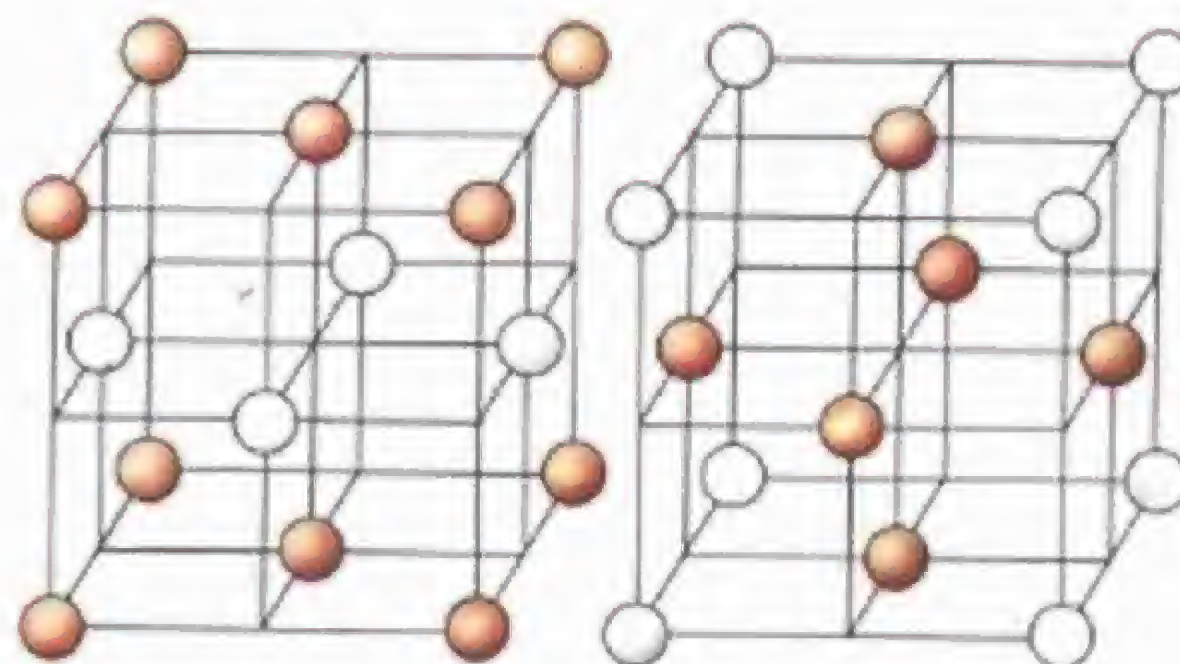
Véase **Acidos y bases; Alcoholes; Química orgánica; Hidrocarburos; Plásticos**

Aleación

El progreso de la Humanidad ha estado siempre ligado al descubrimiento y empleo de los metales, cuyas propiedades —resistencia a la deformación y a la rotura, dureza y brillo característicos— se conocen desde la más remota antigüedad. Sin embargo, pocas veces los encontramos en estado puro. La mayor parte de las sustancias metálicas naturales y los productos artificiales están constituidos generalmente por combinaciones de un metal con otras sustancias, casi siempre otros metales. Tales combinaciones de un metal con otras sustancias se llaman *aleaciones*, aunque lo más frecuente es reservar esta denominación para los productos artificiales obtenidos al incorporar uno o más elementos a un metal.



Metales base y agentes ligadores
Casi todas las aleaciones están constituidas por un metal, llamado *metal base*, combinado con pequeñas cantidades de otros materiales, denominados *agentes ligadores*. Por ejemplo: el acero, la aleación quizás más conocida, está compuesto fundamentalmente de hierro, más un 1,5% (o incluso menos) de carbono. El carbono representa una excepción en el campo de las aleaciones, en cuanto que es uno de los pocos agentes ligadores no metálicos. No son muy comunes las aleaciones con más de dos o tres agentes ligadores en concentraciones superiores al 1%; tales materiales se dice que están "fuertemente aleados". El metal base y los agentes ligadores se combinan generalmente en estado líquido, es decir, mediante su fusión. Sin embargo, a veces las aleaciones se obtienen fundiendo conjuntamente varias sustancias que se han pulverizado previamente.



Arriba, a la izquierda, vemos los átomos que entran en el retículo de otro sólido sustituyendo a los átomos de este último (aleación de sustitución); a la derecha, por el contrario, los átomos se han insertado en los huecos del retículo (aleación intersticial). Al lado, la sustitución regular ha producido la formación de un superretículo.

ALGUNAS ALEACIONES IMPORTANTES					
ALEACIONES DE HIERRO	hierro %	carbono %		propiedades	aplicaciones
Acero dulce	hasta el 99,8	hasta el 0,2		maleable	carrocerías
Acero	99,8-98	0,2-2		duro	piezas de máquinas
Fundición	97-94	3-6		duro-frágil	cimientos, objetos fundidos
ALEACIONES DE COBRE	cobre %	zinc %	estaño %	propiedades	aplicaciones
Oropel (latón rojo)	90	10	—	color vistoso	bisutería
Latón 72	72	28	—	muy dúctil	trazos impresos
ALEACIONES LIGERAS					
Duraluminio	(varios porcentajes de aluminio, magnesio, cobre, silicio) *propiedades:* muy resistente y trabajable en frío y caliente *aplicaciones:* industria aeronáutica				
Anticorodal	(aluminio, silicio, magnesio, manganeso, hierro) *propiedades:* buena resistencia a la corrosión *aplicaciones:* industria química, ambiente marino				
Aleaciones de titanio	(varios porcentajes de titanio, aluminio y estaño) *propiedades:* alta resistencia al calor *aplicaciones:* industria aeronáutica				
OTRAS ALEACIONES					
Níquel-cromo	[níquel (50%), cromo (20%), hierro (30%)] *propiedades:* muy resistente a la corrosión *aplicaciones:* usos navales, industria química				
Oro blanco	[oro (80%), cobre (5%), níquel (10%), zinc (5%); usado en joyería]				
Oro mosaico (estannita)	[estaño (91%), cobre (3%), antimonio (6%); usado para vajillas y otros objetos artísticos]				
Alpaca	[cobre (60%), zinc (20%), níquel (20%)] *propiedades:* inalterable, fusible, de aspecto vistoso				
Acero inoxidable 18/8	[cromo (18%), níquel (8%), hierro y carbono en porcentajes variables] *propiedades:* duro e inoxidable, resistente al calor *aplicaciones:* cubiertos, baterías de cocina, instrumentos de precisión				

El porqué de las aleaciones Las aleaciones tienen como fin obtener una sustancia de características metálicas que posea determinadas propiedades, que no poseen ninguno de sus componentes aisladamente. Esas propiedades dotan a cada aleación de una utilidad específica. Así, las válvulas utilizadas en los sistemas de aspersión antiincendios deben tener un bajo punto de fusión, fabricándose con el plomo como metal base y con cadmio, estaño y bismuto como agentes ligadores.

Otras aleaciones aumentan la resistencia mecánica o la resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas de un determinado metal base. Con el empleo de metales como el aluminio y el titanio se obtiene una "familia" entera de aleaciones resistentes pero ligeras. Tales aleaciones tienen una gran importancia en la industria aeronáutica.

Actualmente se estudian nuevos tipos de aleaciones capaces de satisfacer gran variedad de requisitos.

La microestructura de las aleaciones
Los metales en estado sólido se encuentran en forma de cristales, con sus átomos dispuestos simétricamente, por ejemplo, en un



Al lado, características de los sólidos que favorecen la formación de aleaciones y confieren unas propiedades favorables. A la izquierda, la disposición de los átomos con gran regularidad en un sólido. Esta es la situación de los metales puros, cuyas propiedades físicas están bien definidas. Suelen ser blandos (estaño, oro) y poco resistentes. A altas temperaturas, se forman huecos entre los átomos, y si se enfría bruscamente, el metal los conserva. Esto confiere al metal rigidez y dureza. Lo mismo sucede cuando átomos de una sustancia diversa se insertan entre los del metal de partida, deformando el retículo.

RESISTENCIA DE LAS ALEACIONES





CARGA DE FLUENCIA



Arriba, a la izquierda, curva de deformación en función del esfuerzo en el caso de los materiales dotados de plasticidad. A la derecha, por el contrario, el caso de metales de construcción: el primer tramo, rectilíneo, es el de comportamiento elástico; el codo de la curva corresponde a la fluencia, es decir, al fenómeno que inicia la deformación plástica del material bajo esfuerzo. Cuanto más lejos esté el codo de origen, mayor es la resistencia del material, más adecuado para uso estructural. Al lado, las barras indican en qué valor se produce la fluencia para diversos tipos de materiales. Los valores menores aparecen en los metales puros, plata y cobre. El latón es mucho más duro que el cobre y evidencia la posibilidad de crear aleaciones. Los aceros más resistentes están fuertemente aleados.

retículo cúbico. Sin embargo, la forma cristalina de los metales puede modificarse con la temperatura; por ejemplo, en los metales en estado líquido los átomos pueden moverse libremente sin una estructura ordenada.

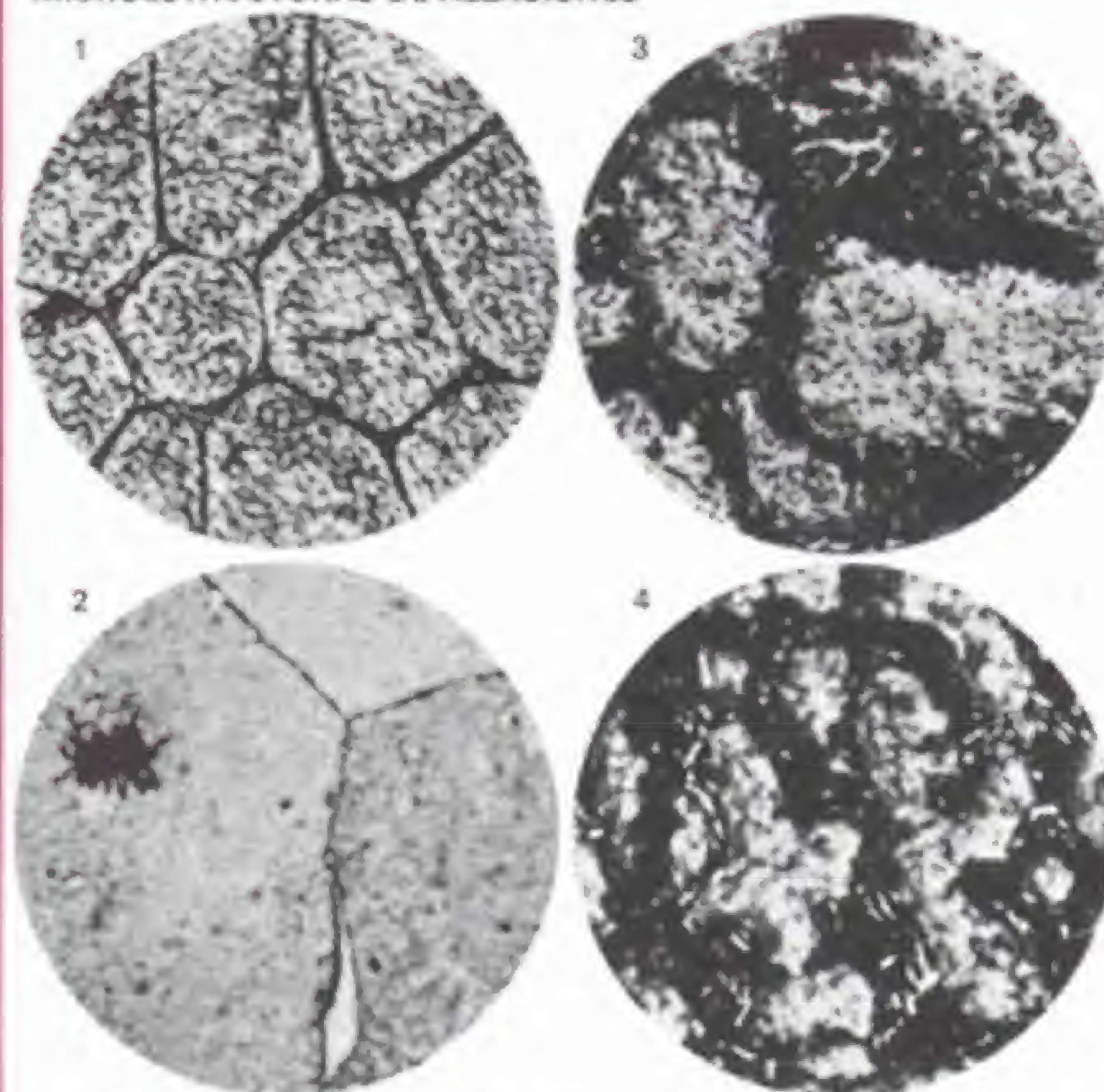
En cuanto a las soluciones sólidas, pueden ser de dos tipos: aleaciones de sustitución y aleaciones intersticiales. Las *aleaciones de sustitución* son aquellas en las que, una vez terminado el proceso de aleación, los átomos de los agentes ligadores ocupan en la estructura cristalina del metal base lugares antes ocupados por átomos de éste. Así, se puede decir que los átomos de uno de los componentes han sido "sustituidos" por los del otro. Esto sólo es posible cuando los diámetros de los átomos de los dos elementos son prácticamente iguales. Las *aleaciones intersticiales* son aquellas en las que los átomos de los agentes ligadores ocupan los huecos existentes entre los átomos del metal base. Esto ocurre cuando los primeros son notablemente más pequeños que los segundos.

Las diversas propiedades de las aleaciones dependen del tipo de materiales componentes o de la microestructura de tales aleaciones. Por ejemplo: en el caso del acero inoxidable, se puede aumentar la resistencia a la corrosión del material añadiendo cromo, que no es atacado tan fácilmente como el hierro en las diversas condiciones ambientales. Modificando la estructura cristalina de un metal en una aleación, se puede obtener un aumento de la resistencia mecánica del material. Cuando un metal en estado puro está deformado, se produce una distorsión de su estructura cristalina, y algunos cristales resultan desplazados o deformados (las deformaciones se producen en direcciones muy determinadas). Pero cuando el metal se encuentra en estado de aleación, la presencia de otros átomos o de otras estructuras cristalinas impide las deformaciones en la estructura cristalina básica. En tal caso, la aleación viene a ser más resistente que el metal base en estado puro.

Se distingue entre diversos tipos de aleaciones según el fin principal que se pretende. Así, se habla de *aleaciones anticorrosivas*, con gran resistencia al ataque químico por líquidos y gases distintos del aire y del oxígeno; de *aleaciones fusibles*, que se emplean para soldar y en los dispositivos de seguridad de las calderas y extintores; *aleaciones magnéticas*, *ligeras*, etcétera.

Véase **Corrosión; Metales**

MICROESTRUCTURAS DE ALEACIONES



A la izquierda, aleación de plomo y antimonio para perdigones de caza, con un contenido máximo de antimonio del 2,2%. La producción con el método tradicional es "por caída" (1): por fusión y sucesivo enfriamiento, primero en el aire y después en el agua, de gotitas de aleación fundida, obtenidas colando la aleación líquida a través de un tamiz. Otro método en uso es el moldeado continuo de hilo, del cual se saca una tira con muchas protuberancias semiesféricas ensambladas sobre dos caras. Estas protuberancias constituyen el perdigón vasto (2) (700 aumentos). Al lado, aleación para láminas de los acumuladores; su diversa microestructura denota un porcentaje diferente de antimonio: el 5% (3) y 1,8% (4) (500 aumentos).

Alergia

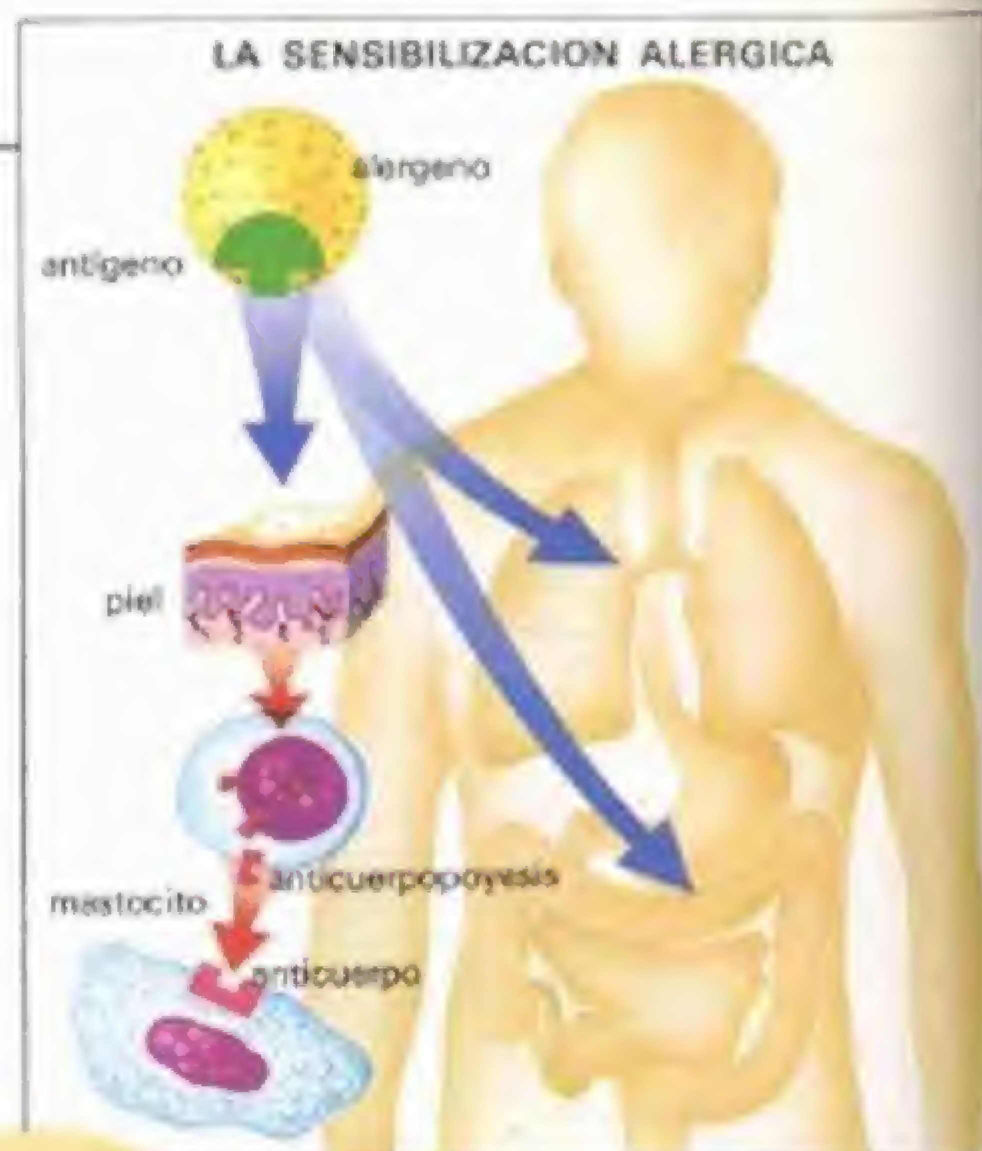
Todas las células de nuestro organismo están codificadas según nuestro particular y específico código genético. Este hecho permite a millones de células diferentes llevar a cabo un enorme número de funciones distintas sin interferirse las unas a las otras. Además, somos capaces de reaccionar a una gran variedad de células diferentes a las nuestras, con las cuales tenemos algunas relaciones biológicas, como si estuvieran sujetas a nuestro mismo código. Algunas veces, sin embargo, nuestro organismo rehúsa conceder a las células extrañas el "visado de entrada", y nuestro sistema inmunitario pone en marcha sus mecanismos de ataque. Se dan estas circunstancias también en los casos de trasplantes de tejidos y órganos; por este motivo los pacientes sometidos a trasplante cardiaco han de ser especialmente vigilados después de la intervención quirúrgica. Y, por último, esta activación de nuestro sistema inmunitario acaece también en el caso de la alergia, la cual es una reacción anormal del organismo a la presencia de una sustancia que en la mayor parte de los individuos no produce, por lo general, una reacción similar.

Los mecanismos responsables de la alergia son parecidos a los que intervienen en las enfermedades infecciosas. Los síntomas pueden ser de gravedad variable, desde una leve irritación cutánea hasta la total invalidez y, en algunos casos, hasta la muerte. Las reacciones alérgicas habituales incluyen síntomas como prurito (picor), escozor, hormigueos cutáneos, dermatitis y eritema, hinchazón e inflamación de la piel. Algunas reacciones más fuertes pueden causar: picor en los ojos, así como lagrimeo y dolor (conjuntivitis); dificultad respiratoria, congestión bronquial y pulmonar (por acumulación de catarros) y tos; náuseas, vómitos y diarreas; fatiga muscular, debilidad y contracciones musculares; cefalea, depresión psicomotriz, somnolencia, ansiedad, convulsiones e incapacidad para la concentración; escozor en el tracto urinario, con prurito vaginal y uretral, etcétera.

La sustancia que desencadena inicialmente la reacción alérgica ha sido denominada de diversas formas: *alergeno*, *antígeno* o, más recientemente, *inmunógeno*. Esta sustancia actúa sobre algunos tejidos orgánicos con los cuales entra en contacto, obligándoles a liberar una sustancia llamada *anticuerpo* (la cual es utilizada por las células para combatir al alergeno, de manera



Existe un anticuerpo específico para cada antígeno: el mecanismo de captura del antígeno es altamente específico. Las células que intervienen son: histiocito, monocito, granulocito neutrófilo y mastocito.



El agente alergizante, por ejemplo un grano de polen, dispone de tres vías de contacto: la piel, el tracto respiratorio y el tracto gastrointestinal. La respuesta defensiva consiste en la formación del anticuerpo estrictamente específico para aquel antígeno. Los anticuerpos van a fijarse sobre la superficie de la célula (mastocito).

LA REACCION ALERGICA

antígeno

piel

vasoconstricción

edema

complejo antígeno-anticuerpo

agentes inflamatorios

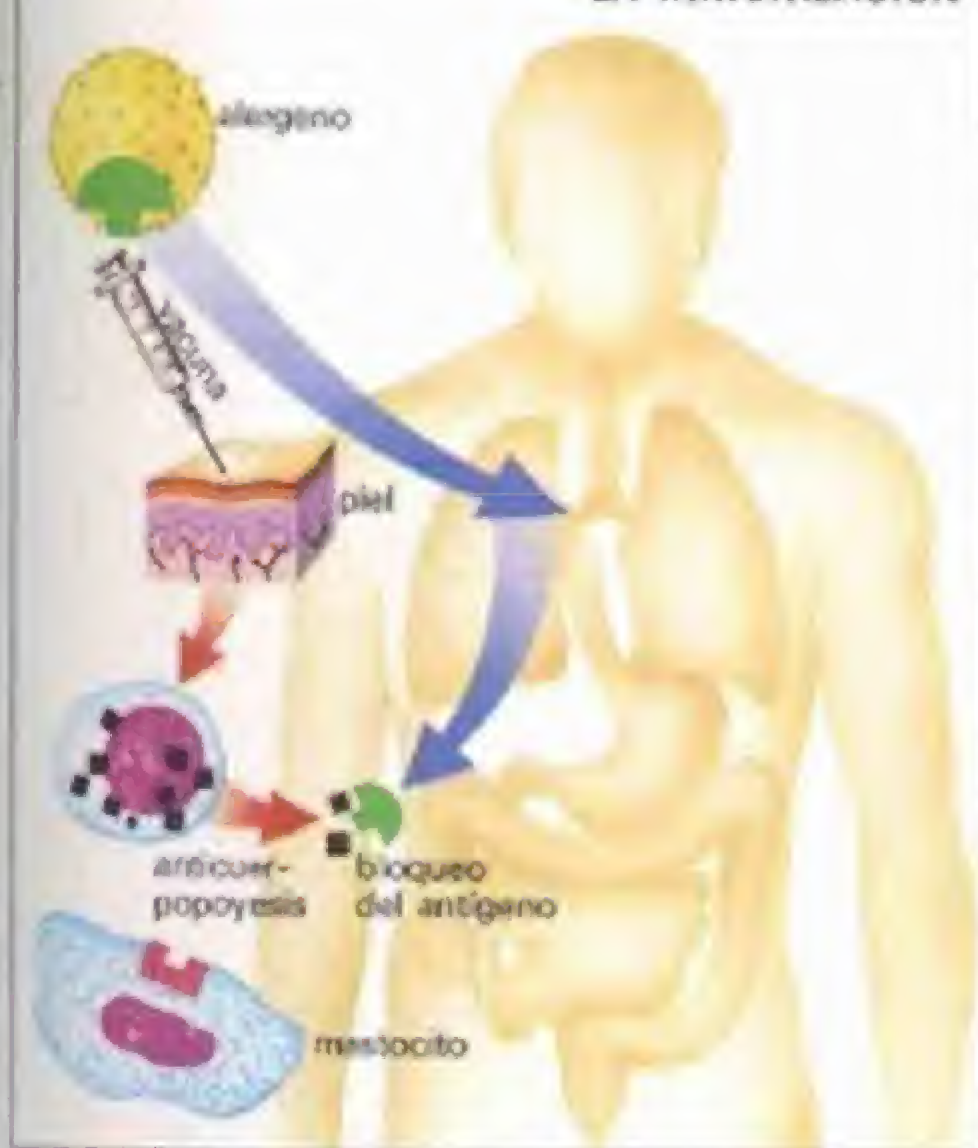
mastocito

Con una segunda exposición al alergeno, se produce la liberación de agentes inflamatorios que determinan las reacciones tisulares típicas, como el asma o la urticaria. Si se introduce una cantidad inferior de alergeno, se produce un anticuerpo bloqueante: en una exposición sucesiva, el alergeno es interceptado por el anticuerpo.

similar a lo que ocurre cuando se combate contra los agentes patógenos de las enfermedades infecciosas). Cada antígeno es contrarrestado por un anticuerpo particular que lo reconoce y que ha sido expresamente estructurado para combatirlo. En esta reacción antígeno-anticuerpo pueden producirse además otras sustancias, entre las que destaca la *histamina*. Cuando en un tejido se libera histamina, esta sustancia causa irritación y es responsable de algunos síntomas de la alergia.

El término *alergia* fue utilizado por primera vez por un médico alemán, von Pirquet, el cual, en 1906, observó la dramática reacción de un individuo a una sustancia particular a la cual había sido expuesto con anterioridad. En 1890, el científico alemán von Behring elaboró la antitoxina diftérica (la antitoxina es una sustancia que neutraliza la "toxina" o veneno producido por algunas bacterias nocivas). Notó este investigador que, cuando la antitoxina era inyectada por segunda vez en un hombre o en un animal, desencadenaba una violenta reacción física en un gran número de individuos, los cuales caían gravemente enfermos. Cuando descubrió que era el suero de la antitoxina lo que desencadenaba la reacción, llamó a este trastorno la "enfermedad del suero". En nuestros días el fenómeno observado por von Behring recibe el nombre de *anafilaxia* o *anafilaxis*.

LA INMUNIZACION



Hay dos categorías principales de alergia: la *sensibilización* y la *atopia*. Von Pirquet observó la primera de ellas. Pero muy pronto, en 1893, un médico inglés, Blackey, llegó a la conclusión de que el polen de las gramíneas podía provocar en algunos individuos la llamada "fiebre del heno". Estudió la reacción de algunos sujetos alérgicos sometidos a la aplicación de polen en el interior de los párpados o bien sobre una escarificación en la piel. De esta manera, observó que se provocaba cierta irritación, que era diferente de la reacción obtenida en los sujetos no alérgicos. En la actualidad una reacción de este tipo recibe el nombre de *atopia*. Este término denota una sensibilidad espontánea (es decir, que no requiere un contacto precedente) a una determinada sustancia y es generalmente hereditaria: varios miembros de una familia, por ejemplo, pueden contraer la "fiebre del heno", o bien la urticaria, tras ingerir tomates o fresas.

Las reacciones alérgicas son tratadas por médicos especialistas, los alergólogos. Estos clasifican las reacciones alérgicas en cuatro categorías. Las distintas clases de alergias se distinguen por el tipo de alergeno considerado, por los mecanismos que el organismo pone en marcha para reaccionar contra las sustancias extrañas y por el tipo de reacción observado en el paciente.

El primer tipo de alergia de esta clasificación, llamado *atópico*, tiene relación con la liberación de histamina. A este primer tipo pertenece la *reacción anafiláctica*, una grave reacción aguda del organismo caracterizada por dificultad respiratoria, urticaria, *shock* y, a veces, diarrea y vómito. El *shock anafiláctico* puede ser fatal, y puede tratarse mediante la inyección de un fuerte estimulante, como la adrenalina. Otras reacciones comprendidas en esta categoría son, por ejemplo, la "fiebre del heno" y la alergia alimentaria, cuyas manifestaciones típicas son la urticaria o erupción cutánea y sensación de escozor. Con la excepción hecha del *shock* anafiláctico en su forma más grave, los síntomas de las reacciones alérgicas de este primer grupo desaparecen espontáneamente en la mayoría de las ocasiones.

La segunda categoría de las formas alérgicas comprende reacciones graves como las que se producen después de realizar transfusiones de sangre incompatible con la del sujeto receptor o tras la administración de antibióticos.

La tercera categoría comprende unos tipos particulares de enfermedades inmunológicas, como la artritis reumatoide o la hepatitis vírica.

La cuarta categoría comprende reacciones retardadas, como las dermatitis de contacto (irritación de la piel provocada por el contacto con ciertas sustancias). La hiedra, la encina y el zumaque producen una reacción de este tipo.

El estudio científico de la alergia constituye una de las ramas más jóvenes de la Medicina moderna, y debe conciliar muchos elementos aparentemente dispares que están involucrados en las reacciones de nuestro organismo hacia algunas sustancias. Arthur F. Cola, conocido alergólogo norteamericano, ha demostrado que es posible reconocer y eliminar de la propia dieta los alimentos a los cuales se es alérgico simplemente descartando todos aquellos que aumenten la frecuencia cardiaca. Hoy en día, en general, se admite que el *stress* no provoca reacciones alérgicas, pero sí puede agravarlas. Entre los trastornos psicosomáticos —es decir, aquellos padecimientos ligados a problemas emocionales y, por lo tanto, al *stress*— está el asma. Por otra parte, se sabe que los asmáticos, en un porcentaje entre el 80 y el 90%, son alérgicos a su propia caspa.

Las reacciones alérgicas pueden ser agudas o crónicas. Pueden surgir de improviso y durar poco o bien pueden continuar durante un tiempo muy prolongado. Por ejemplo, los niños suelen superar fácilmente durante el crecimiento la alergia a la leche que padecían de pequeños. Existen muchas sustancias a las cuales algunos de nosotros somos alérgicos. Se sospecha que esa sería la explicación a ciertas reacciones crónicas a alimentos comunes como el azúcar, el café o el chocolate. Se cree, además, que el chocolate está ligado a problemas de comportamiento en niños que presentan hiperquinesia (motilidad aumentada de los órganos contráctiles).

Cuando se piensa en la alergia, habitualmente se relaciona con el polen, con el polvo de la casa o con el pelo de los animales. Sin embargo, existen también numerosas sustancias contra las cuales se pueden desencadenar reacciones alérgicas, y es sorprendente descubrir cuántas de ellas son sustancias comunes. Además, ciertas actividades pueden constituir un factor de riesgo para las formas alérgicas. La alergia al grano es común entre los panaderos, mientras que en la industria son frecuentes las alergias a los colorantes y a otros productos químicos. También las picaduras de insectos son una causa bien conocida de estas reacciones. Los mosquitos provocan una desagradable irritación de poca importancia, mientras que las abejas, avispas y tábanos pueden producir alergias más graves y algunas veces peligrosas. Las plantas pueden dar lugar a unas reacciones denominadas *dermatitis de contacto*, cuyos efectos finalizan en el espacio de pocos segundos o de algunos días, y cuya gravedad varía sensiblemente. La dermatitis de contacto puede ser tan grave que requiera una terapia a base de *esteroides*, como la cortisona, la cual, sin embargo, sólo alivia los síntomas.

El estudio de las reacciones alérgicas ha conducido, por un lado, a nuevas vías para ayudar a los pacientes que sufren alergias; por otro, ha proporcionado también la inestimable posibilidad de comprender a fondo los mecanismos con los cuales opera nuestro organismo para defenderse de los ataques de los microorganismos, como las bacterias y los virus. Según una teoría actual, el cáncer podría ser entendido como una capacidad disminuida por parte del sistema inmunitario para reconocer genes extraños en las células cancerosas y para combatirlos. Son muchos los investigadores que hoy día, y en todo el mundo, se ocupan no sólo de hallar las causas del cáncer, sino también de buscar remedios más eficaces para males mucho menos graves, como la "fiebre del heno".

Véase **Genética; Inmunidad**

Algas

Se da el nombre de algas a un conjunto de plantas, en su mayoría acuáticas, petenecíente al grupo de las talofitas, las cuales, en contraposición a las cormofitas (plantas superiores), no poseen un verdadero tallo ni un auténtico sistema de conducción de sustancias nutritivas. Se caracterizan, además, por la presencia del pigmento verde clorofila, que las capacita para la absorción del dióxido de carbono disuelto en el agua y su transformación en materia orgánica, así como para la liberación de oxígeno. Este proceso, conocido como *fotosíntesis*, es exclusivo de las plantas verdes, y por ello reciben el nombre de seres *autótrofos*, para diferenciarlos de aquellos organismos que son incapaces de realizarla y que deben alimentarse de otros organismos, siendo por tanto *heterótrofos*.

Existen unas 25.000 especies de algas, repartidas en ocho grupos o divisiones distintos. Los criterios empleados para diferenciarlas se basan en pigmentos, sustancias de reserva y composición de la pared celular. Los principales pigmentos presentes son las clorofilas (diferenciadas en *a*, *b*, *c*, *d*, y *e*), que son de color verde, la ficofeína, de color pardo, la ficoeritrina, de color rojo, la ficocianina, de color azul, y la xantofila, de color amarillo. Las distintas divisiones poseen dos o más de estos pigmentos combinados en una proporción que está regulada fisiológicamente, lo cual les da una coloración característica. Así, las clorofitas son verdes por poseer clorofila; las cianofitas son típicamente verdeazuladas por tener una combinación de clorofila y ficocianina; las rodofitas tienen ficoeritrina y son rojas, y las feofitas son pardas por la presencia de clorofila, caroteno (naranja) y xantofila (amarillo), aunque en ocasiones pueden presentar un color verdoso debido a una mayor proporción de clorofila. Cada división posee unas características determinadas que la diferencian de las restantes, lo cual explica la gran diversidad que encontramos en este grupo de plantas. Algunas son unicelulares y microscópicas, mientras que otras son pluricelulares y están organizadas en talos más o menos ramificados, alcanzando en ocasiones varios metros de longitud, como las del género *Fucus*.

El hábitat de las algas es también muy variable, pudiendo vivir fijas a un sustrato (bentónicas), o libres flotando en las primeras capas de agua. Aunque la inmensa mayoría son marinas, podemos encontrarlas también en aguas dulces, en troncos de árboles, en paredes húmedas e incluso en la nieve. El único requisito indispensable es la existencia de un alto grado de humedad que permita el movimiento de las estructuras reproductoras.

Las algas constituyen el componente principal de la flora marina (con excepción de algunas Fanerógamas), por lo que su importancia en este medio es primordial como primeros elementos de la *cadena trófica*. El primer eslabón de esta cadena está formado por las algas microscópicas unicelulares, conocidas como *fitoplancton*, el cual es ingerido por el *zooplancton herbívoro* (representado por los Copépodos); éste, a su vez, por el *zooplancton carnívoro*, y éste por peces como los arenques. La cadena continúa hasta llegar al hombre, existiendo una transferencia de energía de un nivel a otro que representa el 10% de la energía del nivel anterior. El 90% restante permanece en el propio nivel, utilizándose en parte para el desarrollo corporal y en parte para el mantenimiento de la actividad vital y el movimiento.

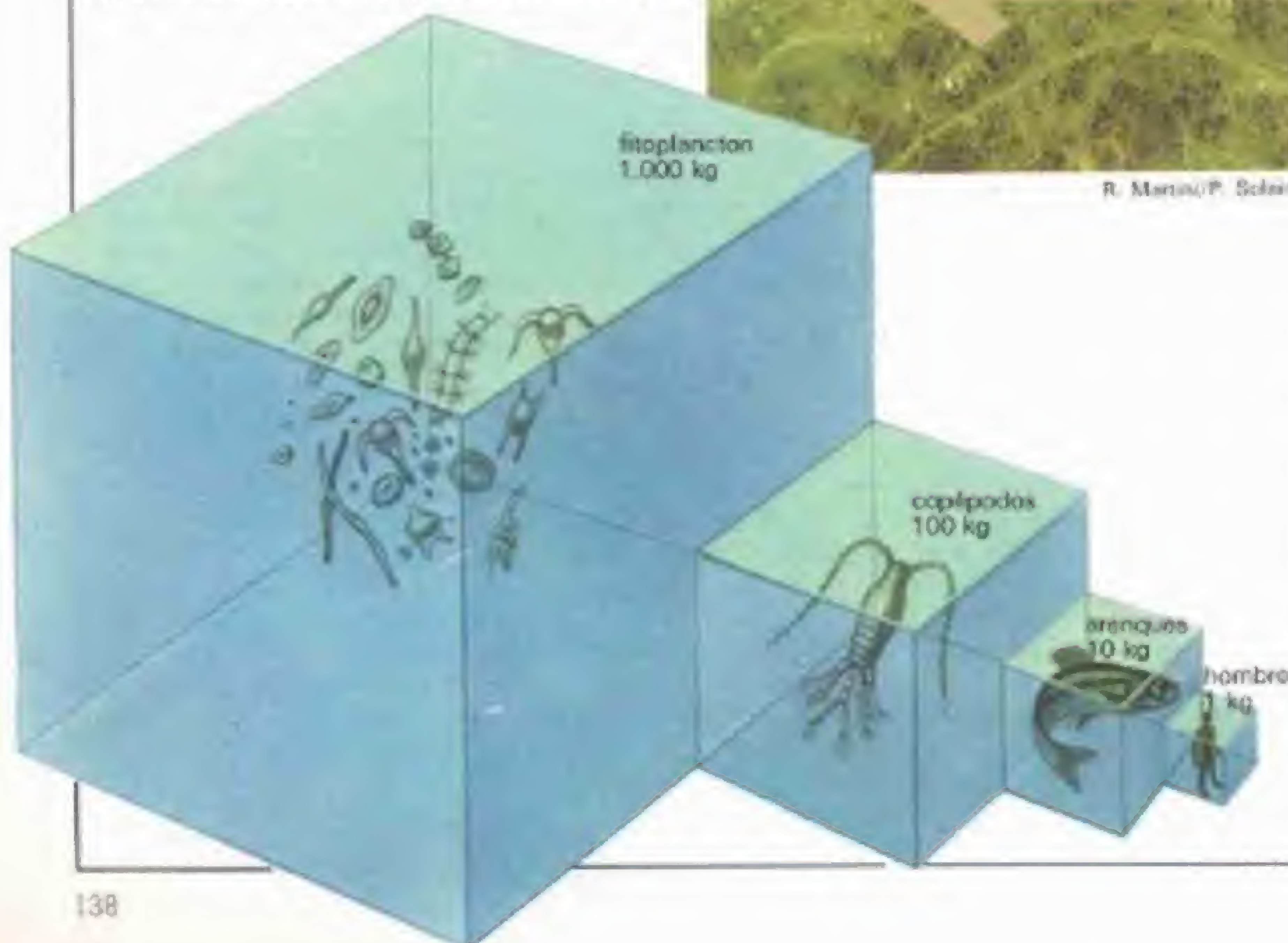
Pero no siempre el fitoplancton es beneficioso, originando a veces contaminaciones desastrosas conocidas como "mareas rojas". Consisten en que algunas especies (en ocasiones una sola) se reproducen de modo desmesurado, hasta el extremo de que la abundancia de estos organismos hace cambiar el color de las aguas, generalmente hacia el rojo (aunque puede ser otro color). Es un fenómeno repentino, pasajero y que se presenta sin ningún tipo de

Detalle de una microfotografía de un alga de la especie *Ankistrodesmus acicularis*, que vive en el pelaje de ciertos monos africanos, al que proporciona un color característico.

AUTOTROFOS

HETEROTROFOS

agua + dióxido de carbono ⇄ hidratos de carbono + oxígeno



La importancia de las algas radica en su capacidad de producir materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas disueltas en el medio. De hecho, por la fotosíntesis, son capaces de convertir el dióxido de carbono en hidratos de carbono, con liberación de oxígeno. La materia orgánica producida es después utilizada por los seres heterótrofos, que no pueden realizar la fotosíntesis. El oxígeno aparece en la foto en forma de burbujas, entre los filamentos de alga verde *Cladophora prolifera*. En el mar todos los organismos forman parte de una cadena en la que cada eslabón es depredador del anterior y depredado por el siguiente. En el esquema se representa una cadena sencilla: el primer eslabón es el fitoplancton, formado por las algas microscópicas que viven flotando en las primeras capas del océano; le sigue el zooplancton, y al final se sitúa el hombre. La eficiencia de la cadena es de un 10% de un nivel a otro; el 90% restante permanece en el propio nivel, utilizándose en parte para el desarrollo corporal y en parte para el mantenimiento de la actividad vital.

HABITATS DE LAS ALGAS

ambiente acuático y húmedo (incluso aguas termales)

hielo, nieve

suelo (especies terrícolas)

arena (especies psammófilas)

roca (especies epilíticas)

plantas (especies epífitas)

troncos (especies cortícícolas)

hojas (especies epífilas)

en el interior de otros organismos (especies simbióticas)



G. Lozano

Típicos organismos acuáticos que abundan en cualquier masa de agua, las algas viven en hábitats muy diferentes: en ambientes húmedos, en la corteza de los árboles; en la nieve; en el suelo; etcétera. Algunas especies pueden vivir también con otros organismos en una auténtica simbiosis con ventajas para ambos, como es el caso de la actinia de la fotografía, la cual debe su color marrón a la presencia en sus tejidos de algas unicelulares *(Zooxantelas)*.

periodicidad. La importancia de tales mareas estriba en que las especies que las producen segregan sustancias que resultan tóxicas para la mayoría de las demás especies de la zona, con lo que se produce un repentino empobrecimiento de ésta. El mar adquiere un aspecto espeso, la pesca desaparece e incluso la población ribereña sufre trastornos respiratorios y cutáneos; en ocasiones, la ingestión de peces muertos por las toxinas puede producir la muerte. Uno de los géneros responsables de estos fenómenos es *Gonyaulax*, causante indirecto de los ocasionales envenenamientos por comer mejillones.

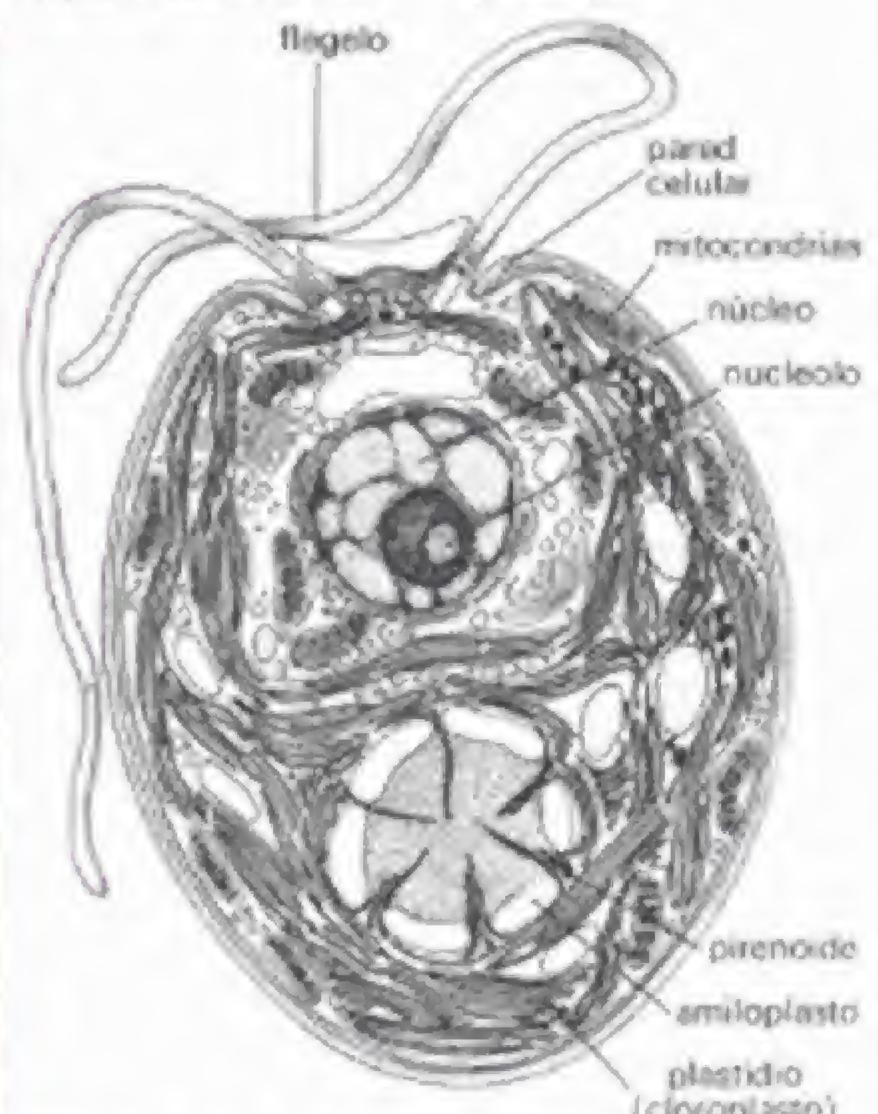
A veces, un aporte excesivo de sustancias de desecho puede producir también un crecimiento desmesurado de la población algal, la cual consume el oxígeno que es necesario para otros organismos y destruye así el equilibrio del ecosistema. En este sentido, es interesante resaltar que las algas constituyen, cada día más, un buen índice de contaminación, ya que algunas especies se presentan precisamente en lugares contaminados. La detección de las mismas puede servir para prevenir la contaminación a mayor escala, o para eliminarla si no es excesiva. Cuando se introducen algas en aguas contaminadas, pueden destruir o fijar algunos productos químicos de desecho y sustancias orgánicas peligrosas como los nitratos, fosfatos, DDT y residuos radiactivos de una manera total. El problema está en eliminar las propias algas al final del proceso. En el pasado se hicieron experimentos con las algas unicelulares, muy difíciles de eliminar a causa de sus dimensiones microscópicas, por lo que se ha propuesto utilizar algas flotantes, de mayor tamaño que las anteriores. Estas se podrían eliminar fácilmente del agua y aprovechar algunas de ellas con fines útiles, sobre todo en la fabricación de papel en sustitución de la fibra de madera, que cada vez se hace más escasa.

Aprovechamiento y aplicaciones de las algas Desde tiempo inmemorial el hombre ha utilizado las algas como complemento de su dieta alimenticia y con fines terapéuticos, aunque la utilización económica real fue iniciada por chinos y japoneses alrededor de 1670. Actualmente hay cerca de 40 especies de algas marinas que constituyen un alimento muy difundido por todo el mundo, pero hace ya mucho tiempo que se vienen usando para la extracción de productos que son necesarios en numerosas industrias como agentes gelificantes, emulsificantes, estabilizadores, etc. Los principales productos base son el agar, los alginatos y las carrageninas. El agar, conocido como agar-agar, se extrae de ciertas Rodofíceas como *Acanthopeltis japonica*, algunas especies de *Gelidium* y de *Pterocladia*, todas ellas algas rojas. Posee una considerable capacidad de convertirse en gelatina, por lo que se utiliza en la industria alimenticia para la producción de cremas, *puddings*, como estabilizador de mayonesas, etc. El grado más alto de aplicación se



A. Brito

La fotografía muestra una masa de algas pardas pertenecientes al género *Cystoseira*, creciendo fijas al sustrato en la zona que es batida por el oleaje y que queda al descubierto en la bajamar. Esta banda marca, en muchas costas, el principio de la zona infralitoral, que está siempre cubierta de algas. Más arriba viven otras especies de algas adaptadas a un período de desecación bastante más prolongado.

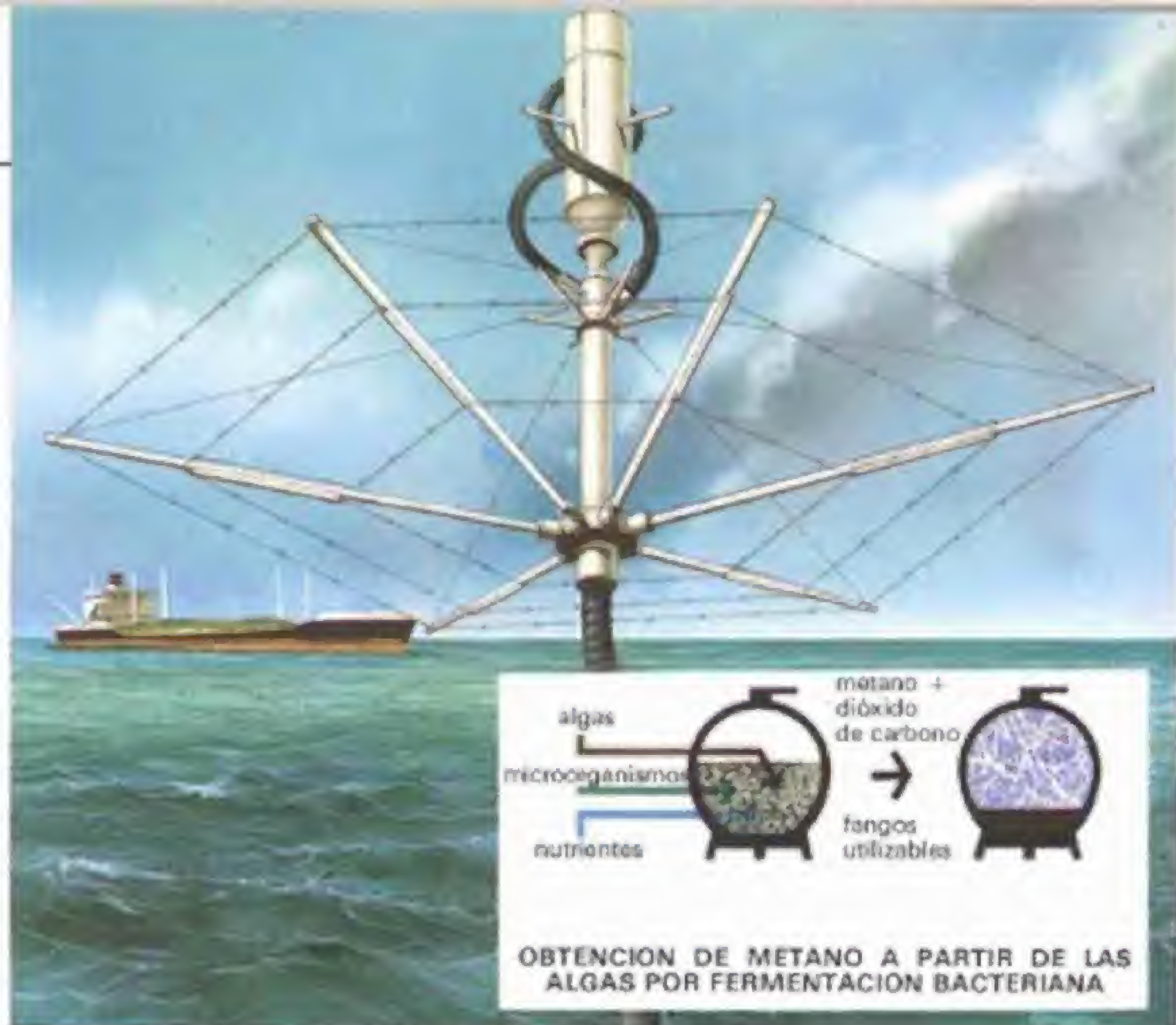


Estructura de un alga unicelular biflagelada del género *Chlamydomonas*, vista con el microscopio electrónico. Se distinguen sus diversos orgánulos.

da en EE UU y en Australia en las industrias de carne y pescado, en particular para productos enlatados, como un protector contra los efectos indeseables de los metales. También se usa como agente clarificante de vinos, cerveza y licores. En farmacología se suele utilizar como laxante. También se aplica en odontología y en fotografía. En el campo de la investigación biológica constituye un medio auxiliar para numerosos trabajos y análisis, siendo un medio de cultivo ideal para bacterias y microorganismos.

De las algas se extraen también sustancias con acción fungicida y antibacteriana. Los experimentos hechos hasta ahora muestran que numerosas especies de algas poseen sustancias que, tratadas con éter, resultan ser eficaces contra la acción de organismos patógenos, como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*.

Por otra parte, el contenido vitamínico de las algas es bastante alto, por lo que encuentran otra importante aplicación en este campo. Las vitaminas más frecuentes en las algas son la A, C, D, y algunas del complejo B. *Porphyra tenera*, una de las especies más cultivadas en Japón, es muy rica en riboflavina. Generalmente las cantidades oscilan entre 0,84 y 23,08 microgramos por gramo de peso seco, lo cual es una cantidad considerable.



Una aplicación nueva de las algas podría ser en la producción de hidrógeno, algo potencialmente revolucionario. Empleando la luz solar y con ayuda de ciertos enzimas, algunas especies de algas producen la escisión de la molécula de agua en oxígeno e hidrógeno. Este último, una vez aislado y recogido, podría llegar a utilizarse como combustible sustitutivo del petróleo, aplicación que podría frenar de forma inmediata la presión que gravita sobre nuestras reservas de energía, en constante disminución, con gran ventaja a largo plazo para el medio ambiente.

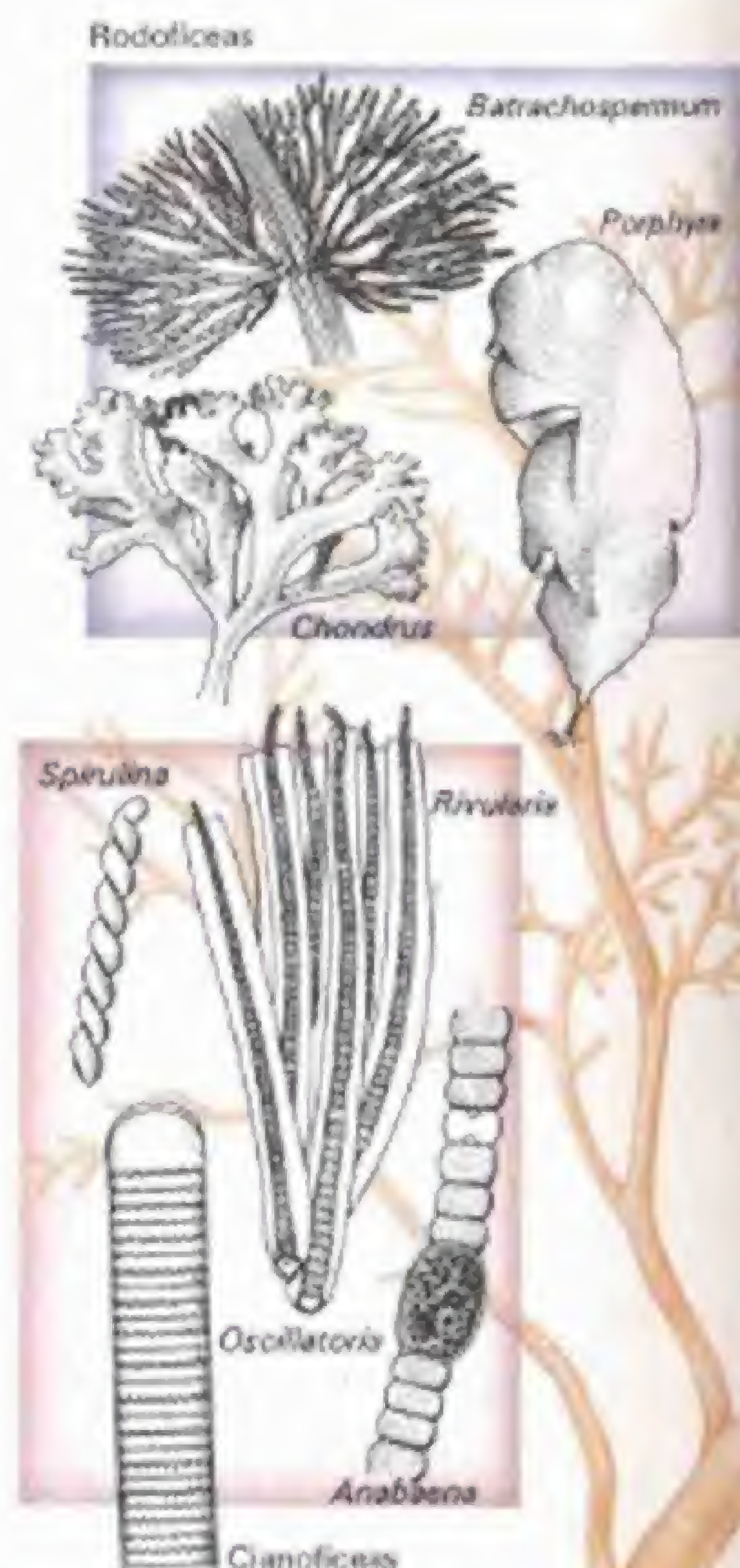
La extracción de todos estos productos, para que resulte rentable, debe hacerse a partir de grandes cantidades de algas, de ahí que existan en numerosos países grandes extensiones de terreno dedicadas al cultivo intensivo de muchas especies de algas. Con todo, el rendimiento actual no alcanza el 10% de lo que se espera para un futuro no muy lejano, en el que las algas constituirán una parte muy importante en la vida del hombre.

Véase **Acuicultura; Clorofila; Ecología; Fotosíntesis**



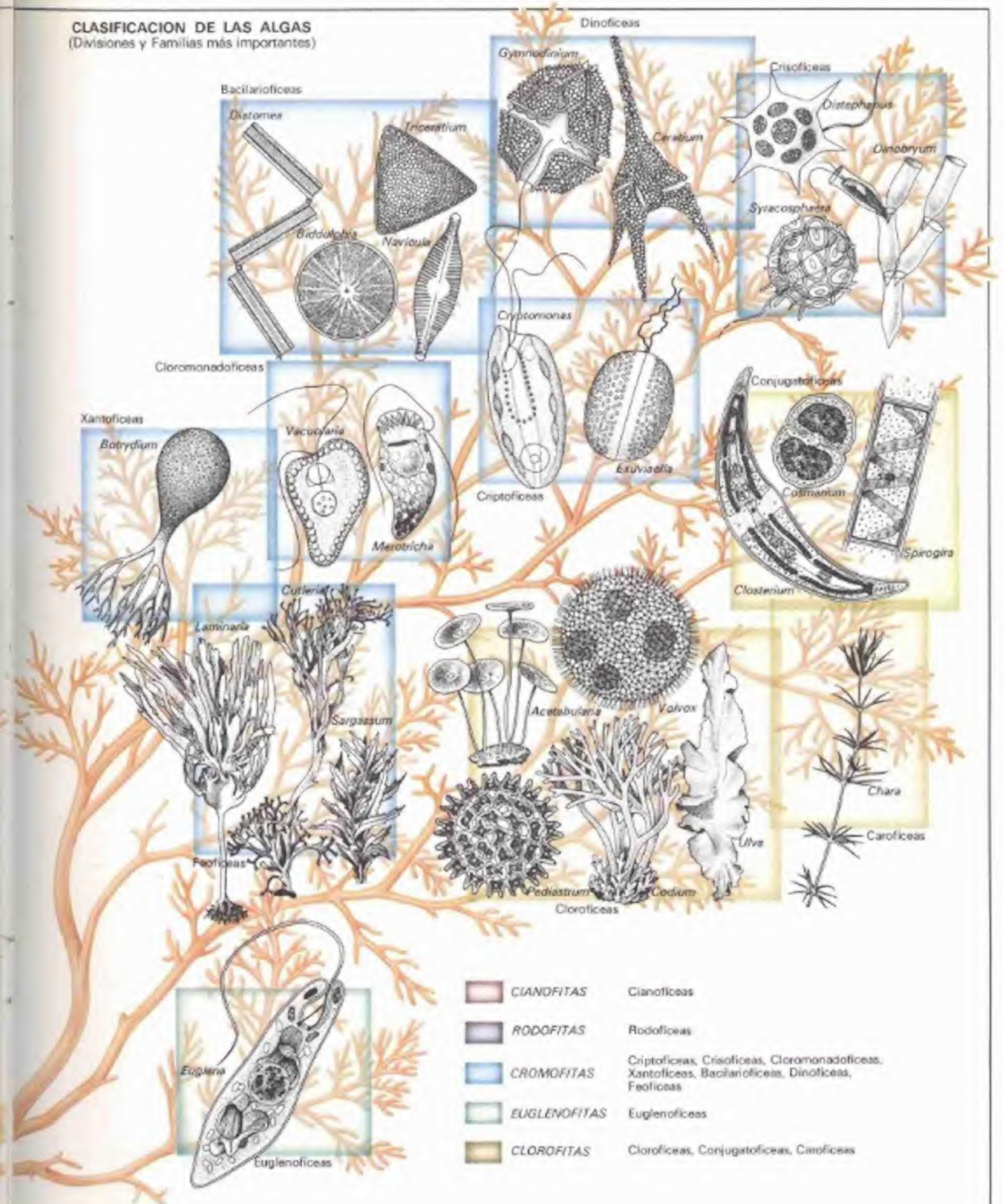
Marka

Arriba, prototipo de planta diseñada en EE UU para el cultivo de un alga gigante (*Macrocystis pirifera*). Su estructura está constituida por un cuerpo central flotante que sostiene un entramado sumergido en forma de sombrilla, sobre el que crecen las algas. Estas son "alimentadas" con aguas profundas, ricas en nutrientes, aspiradas mediante bombas. A la izquierda, cultivo de algas con fines alimenticios en una bahía de Japón utilizando hileras de estacas y redes que sirven de soporte.



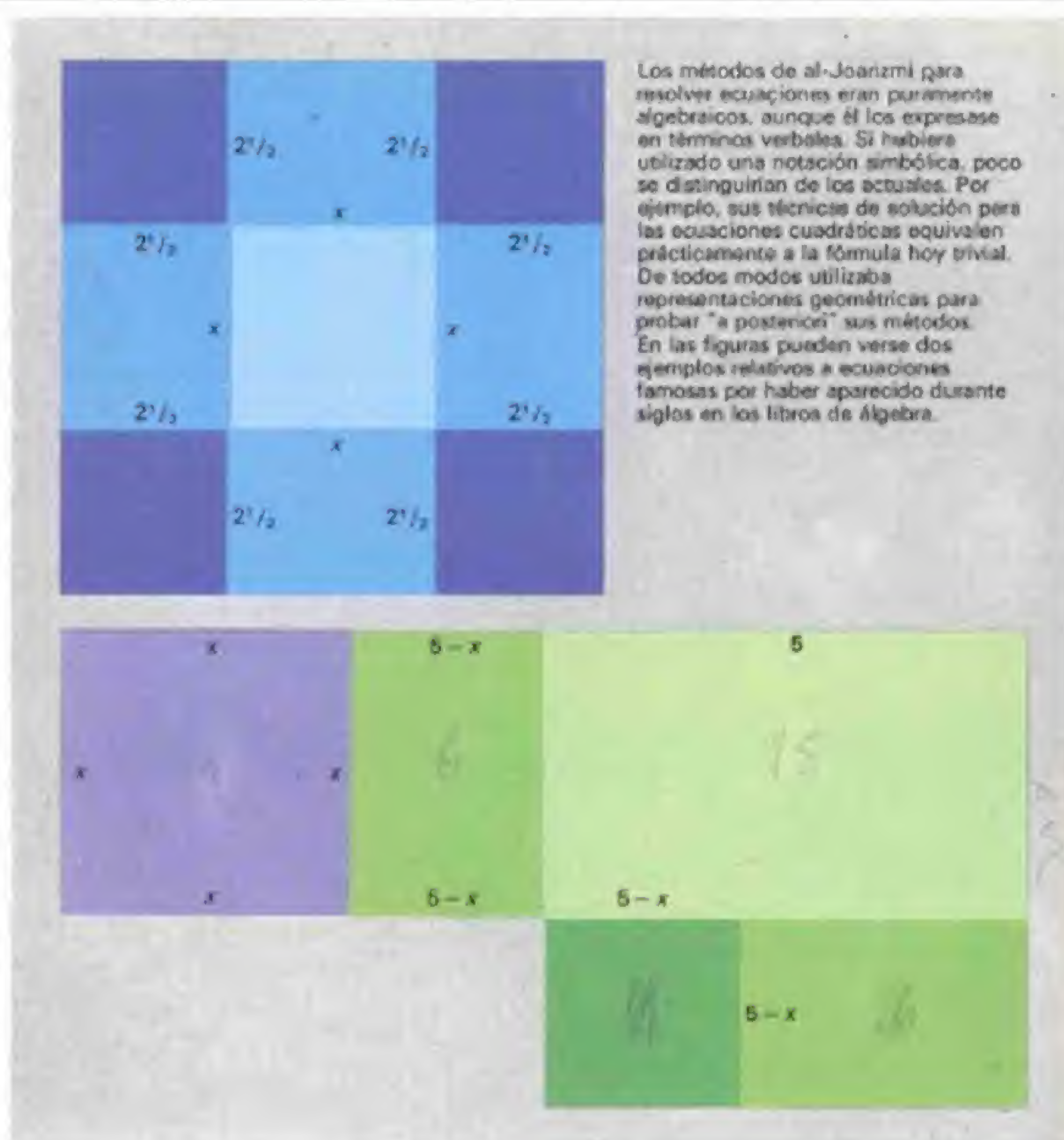
UTILIZACION ECONOMICA DE LAS ALGAS

- para alimentación humana y animal
- para la extracción de yodo, bromo y sales de potasio
- para la obtención de antibióticos, vitaminas, aminoácidos y proteínas
- para la extracción de productos auxiliares en la industria química, textil, farmacéutica y alimentaria
- para estudios de carácter científico, investigación de laboratorio de carácter teórico y aplicado
- para la extracción de harina fósil utilizada como material de embalaje de ácidos corrosivos


CLASIFICACION DE LAS ALGAS
(Divisiones y Familias más importantes)
Dinoficeas
Gymnodinium
Ceratium
Crisoficeas
Distephanus
Dinobryum
Syracosphaera
Bacilarioficeas
Diatomea
Triceratium
Biddulphia
Navicula
Cryptomonas
Exuviaella
Criptoficeas
Cloromonadoficeas
Vacuolaria
Merotricha
Xantoficeas
Botrydium
Conjugatoficeas
Cosmarium
Spirogira
Closterium
Cutleria
Laminaria
Sargassum
Feoficeas
Acetabularia
Volvox
Pediastrum
Codium
Cloroficeas
Ulva
Chara
Caroficeas
Euglena
Euglenoficeas
CIANOFITAS
Cianoficeas
RODOFITAS
Rodoficeas
CROMOFITAS
Criptoficeas, Crisoficeas, Cloromonadoficeas, Xantoficeas, Bacilarioficeas, Dinoficeas, Feoficeas
EUGLENOFITAS
Euglenoficeas
CLOROFITAS
Cloroficeas, Conjugatoficeas, Caroficeas

Algebra

En pleno siglo IX reinaba en Bagdad el califa al-Mamum (del 813 al 833), gran protector de la ciencia. Estaba especialmente interesado en los estudios astronómicos y matemáticos y, para el desarrollo de los mismos, contaba a su servicio con numerosos sabios. Entre ellos se encontraba un notable científico, Mohamed ben Musa, llamado al-Joarizmi, por ser oriundo de la región de Joarezm (hoy incluida en la República Socialista Soviética del Uzbekistán). Mohamed ben Musa llevó a cabo notables trabajos astronómicos; por ejemplo, realizó mediciones entre Bagdad y Damasco para calcular la longitud del grado de meridiano terrestre. También escribió varios libros de matemáticas; entre estos, dos han tenido una especial trascendencia en la Historia: uno, de aritmética, se dedicaba al estudio del sistema de numeración hindú y a las técnicas de cálculo en él basadas; y otro, que es el que aquí nos interesa, de una disciplina que con el tiempo ha dado en llamarse *Algebra*, precisamente porque el título que le dio al-Joarizmi fue *al-Yebr w'al muqabala*, que fue traducido en España en el siglo XII como *Liber algebrae et almucabola*, y cuyo significado aproximado es "Libro de la restauración y reducción". Los clásicos castellanos hablaban de *álgebra* y *algebristas* en la acepción de restauración y restauradores de huesos (así lo recoge aún la última edición del Diccionario de la Real Academia de la Lengua) ¿De qué trataba ese libro, que fue el primero en utilizar el nombre de la disciplina, aunque no el primero en estudiarla? Pues, sencillamente, de la resolución de ecuaciones por la "técnica de restaurar y reducir", es decir, completar expresiones añadiendo o suprimiendo términos en los dos miembros de las igualdades.



Los métodos de al-Joarizmi para resolver ecuaciones eran puramente algebraicos, aunque él los expresase en términos verbales. Si hubiera utilizado una notación simbólica, poco se distinguirían de los actuales. Por ejemplo, sus técnicas de solución para las ecuaciones cuadráticas equivalen prácticamente a la fórmula hoy trivial. De todos modos utilizaba representaciones geométricas para probar "a posteriori" sus métodos. En las figuras pueden verse dos ejemplos relativos a ecuaciones famosas por haber aparecido durante siglos en los libros de Algebra.

Arriba, la ecuación
$x^2 + 10x = 39$
es representada por al-Joarizmi
en la forma que indica la figura.
Un cuadrado central de área x^2
es bordeado por cuatro rectángulos
cuyo área total es $10x$ y cuatro cuadrados
cuyo área total es 25.
Entonces se tiene que el área total vale
$x^2 + 10x + 25 = 39 + 25 = 64$
y, por tanto, el lado del cuadrado
grande es 8, y el del pequeño,
$x = 8 - 5 = 3$.

Sea la ecuación
$x^2 + 21 = 10x$.
Según al-Joarizmi, se dibuja el
área $10x$ como un rectángulo y se
divide el mismo en un cuadrado
de área x^2 y un rectángulo de área 21,
al que se le superpone
un cuadrado de lado
$10 : 2 = 5$.
Fácilmente se ve que el área de éste,
es decir, 25, coincide con la del
rectángulo residual, salvo en el
cuadrado pequeño de lado $5 - x$.
Por tanto:
$(5 - x)^2 = 25 - 21 = 4$;
es decir,
$5 - x = 2$ y $x = 3$.

Los matemáticos islámicos no fueron, en realidad, los inventores del Algebra, aunque sí tienen el mérito de haber recogido y enriquecido una herencia milenaria de varias culturas (China, Babilonia, Egipto y, sobre todo, India y Grecia). El mundo musulmán de la Edad Media asimila, como en el tema de la numeración y los algoritmos decimales, los conocimientos algebraicos de los indios, desarrollados por éstos en textos de relativa importancia en los siglos VI al X de nuestra era. Por otra parte traduce y amplía las ideas algebraicas de los griegos. A este último respecto hay que señalar que, por razones sociales y culturales largas de explicar (esclavitud, actitud ante el trabajo y la técnica, etc.) y también por motivos matemáticos (usaban letras para indicar los números, lo que dificultaba, aunque no de modo absoluto, el que tuvieran una notación algebraica como la actual), los griegos no alcanzaron un nivel en Algebra comparable al de su Geometría. Sin embargo, tenían conocimientos notables; por ejemplo, Euclides (*c.* 300 a. de C.) en sus *Elementos* resuelve por técnicas geométricas problemas de segundo grado. El álgebra griega evolucionó, llegando a alcanzar, avanzado el período helenístico, cierta importancia con Diofanto (*c.* 275 de nuestra era), cuyas ecuaciones indeterminadas en números enteros siguen interesando.

Volviendo a la Edad Media, señalemos que *Fibonacci*, famoso por su papel en la consolidación de la notación decimal, fue también autor de un importante *Liber Quadratorum* (*c.* 1225), en el que se tratan ingeniosamente difíciles problemas algebraicos.

Durante los siglos XIII, XIV y XV el arte de los algebristas evoluciona, hasta que en el siglo XVI da un salto de gigante. Viète (1540-1603) es un matemático aficionado francés (dedicado profesionalmente al Derecho, que fue miembro del parlamento de Bretaña y trabajó como consejero de los reyes Enrique III y Enrique IV) que contribuyó excepcionalmente al desarrollo de las matemáticas por un camino que hoy parece evidente: el de los símbolos y las notaciones. Con él el Algebra deja definitivamente de ser *verbal* para ser *simbólica*. Curiosamente, hay que señalar que, en su trabajo, había tenido éxito descifrando mensajes secretos. El camino de la geometría analítica y otros muchos descubrimientos quedó así abierto. Los siglos siguientes verán un progresivo desarrollo de los conocimientos algebraicos.

El nuevo gran acontecimiento se da ya en pleno siglo XIX, cuando el Algebra se ocupa no sólo de ecuaciones entre núme-

ros y, por extensión, de operaciones entre expresiones literales que representan o pueden representar números, sino de operaciones entre elementos arbitrarios. Muchos matemáticos contribuyen a este "giro copernicano". Tal vez el más destacado fuera el francés Evariste Galois (1811-32) creador, a sus 20 años, entre otras cosas, de la Teoría de Grupos. La "teoría de grupos" nace en conexión con las transformaciones de las soluciones de ecuaciones; pero, inmediatamente, abre el camino al tratamiento de otros casos.

La evolución del Algebra El breve esbozo histórico que hemos hecho pone de manifiesto que el Algebra, al igual que las demás ramas de la Matemática y, en realidad, que toda ciencia, tiene carácter histórico, en el doble sentido de que a lo largo del tiempo han ido cambiando no sólo sus resultados sino, lo que es más importante, su método y su propio objeto.

En efecto; entre los babilonios, los indios, los egipcios, los propios griegos y en el mundo medieval (primero los musulmanes y luego los cristianos) el Algebra aparece como una ampliación de la Aritmética, que, cada vez más, va especializándose en la solución de ecuaciones. Por otra parte, se trata de un Algebra "retórica" o "verbal": los problemas, las operaciones y los resultados se expresan en términos verbales, se refieren a casos concretos y se prueban por técnicas más o menos heurísticas que, en muchos casos, recurren a representaciones geométricas.

A partir del Renacimiento, el Algebra, progresivamente, se hace simbólica, haciendo así posible el avance de la Matemática, abriendo el camino de la Geometría y el Análisis modernos. Las magnitudes se representan por letras y las operaciones por signos. Por otra parte, su objeto se va ampliando, hasta que en los siglos XIX y XX éste se convierte en las operaciones y las estructuras operativas en conjuntos cualesquiera.

Esta evolución, como es lógico, no tiene sólo motivaciones endógenas —el natural desarrollo de las ideas, la respuesta a problemas que se plantean como retos a los científicos, etc.— sino que tiene que ver con la marcha general de la sociedad. Las necesidades técnicas y económicas plantean progresivamente numerosos problemas prácticos que exigen nuevas formulaciones matemáticas.

El concepto de operación algebraica El concepto básico del Algebra es, sin duda, el de *operación* (u *operación interna*). Las cuatro operaciones básicas de la Aritmética elemental son el caso particular más sencillo de dicho concepto, cuya importancia aconseja que sea precisado.

Si se tiene un conjunto A de elementos cualesquiera (por ejemplo números enteros, números reales, vectores, transformaciones geométricas, etc.), se llama *operación interna definida en A* a la ley que atribuye a cada pareja ordenada de elementos de A un elemento de A. Por conveniencia, en vez de decir que a la pareja (a,b) le corresponde el elemento c, se dice que "a operado con b da el resultado c" y se escribe: $a \star b = c$, denominando al asterisco ($\star$) signo de la operación. Naturalmente, en cada caso concreto puede sustituirse el asterisco por un signo apropiado; por ejemplo, en las operaciones de la Aritmética elemental, se usan los conocidos signos "más" (+), "menos" (−), "por" (×) y "entre" (:).



Uno de los casos que confirman la creencia de que las grandes ideas matemáticas son fruto de genios precoces se da en Evariste Galois (1811-1832). Trabajando en torno a las transformaciones de las soluciones de ecuaciones algebraicas, creó la moderna teoría de grupos ¡a sus veinte años! En ese momento se produce un cambio revolucionario en la historia del álgebra, que empieza a dejar de ser teoría de las ecuaciones para ser teoría abstracta de las operaciones. Se da la circunstancia de que Galois era también un revolucionario y un romántico en la política y en la vida. Participante en la revolución de 1830, muere en un duelo derivado de un supuesto lance galante, al que algunos consideran, sin embargo, una trampa de sus enemigos políticos. Consciente de su próximo fin, dedica la noche anterior a su muerte a poner en limpio sus papeles matemáticos. Una tradición heroica cuenta que sus amigos fueron de su entierro a las barricadas.

Conviene subrayar que toda pareja ordenada debe tener un resultado y que éste ha de ser un único y bien determinado elemento del conjunto.

Propiedades de las operaciones Establecida una operación en un conjunto, se impone el estudio de sus propiedades, es decir, de las características de la misma. El número de propiedades posibles es enorme (algunas de las más frecuentes se relacionan en el cuadro siguiente).

Nombre usual de la propiedad	Definición	
Conmutativa	$a \star b = b \star a$	$\forall a,b \in A$
Asociativa	$a \star (b \star c) = (a \star b) \star c$	$\forall a,b,c \in A$
Idempotente	$a \star a = a$	$\forall a \in A$
Existencia de elemento neutro (según los casos, *nulo* o *unidad*)	$\exists n \in A,\ a \star n = n \star a = a$	$\forall a \in A$
Existencia de simétrico (según los casos, *opuesto* o *recíproco*)	$\forall a \in A,\ \exists a' \in A,\ a \star a' = a' \star a = n$	

Los signos $\forall$ y $\exists$ son los cuantificadores universal y existencial; se leen, respectivamente, "para todo" y "existe un". El símbolo $\in$ es el de pertenencia y se lee "pertenece a".
El uso del paréntesis, ( ), sirve para señalar que primero hay que obtener el resultado de la operación indicada en su interior y luego la indicada en su exterior, salvando siempre el orden.

A veces se da la circunstancia de que una operación no es conmutativa pero hay pares de elementos para los que es indiferente el orden a efectos de la obtención del resultado; se habla entonces de elementos *permutables*. Análogamente, una operación puede no ser idempotente y existir, sin embargo, elementos particulares que sí lo sean.

Las operaciones para las que existe simétrico de cualquier elemento (y, lo que es previo, elemento neutro) presentan un aspecto familiar a quien conozca la Aritmética elemental. Por ejemplo, se puede siempre encontrar solución a la siguiente ecuación en la incógnita x:

$$a * x = b$$

En efecto; operando con el simétrico de a en ambos miembros, se tiene:

$$a' * (a * x) = a' * b$$

pero utilizando la propiedad asociativa y la definición de simétrico, el primer miembro queda:

$$a' * (a * x) = (a' * a) * x = n * x = x$$

Y, en definitiva, se obtiene:

$$x = a' * b$$

De modo análogo se prueba, para el caso de operación con existencia de simétrico, que

$$a * b = a * c$$

implica

$$b = c$$

para cualesquiera elementos a, b y c. Propiedad esta última conocida como *ley de simplificación*. A veces sucede que sin necesidad de cumplirse ésta hay elementos particulares que, como el a de la anterior expresión, pueden cancelarse de ambos miembros de la igualdad, y se les llama *regulares*. Obviamente, si todos los elementos tienen simétrico, todos son regulares.

El concepto de estructura algebraica Un cierto conjunto en el que se ha definido una operación algebraica con sus correspondientes propiedades se dice que ha sido dotado de una *estructura algebraica*. Los conjuntos concretos con operaciones determinadas (por ejemplo, los números reales con la suma) se dice que son realizaciones concretas de esa estructura si sus propiedades son casos particulares de aquélla. Cuando en un conjunto existe una sola operación algebraica, se dice a veces que es *un grupoide*, y cuando hay dos o más, que se trata de *un álgebra*. En este último caso la estructura es más compleja porque puede haber propiedades combinadas. Por ejemplo, si en A hay definidas dos operaciones (una designada por $*$ y otra por $\circ$), las propiedades más frecuentes son las que figuran en el cuadro inferior.

Casos especiales de *grupoides* son los *semigrupos* y los *grupos*; los primeros son conjuntos dotados de una operación asociativa; en los segundos se da, además, la existencia de neutro y simétrico. Ejemplos sencillos se encuentran en la Aritmética elemental: los números naturales con la suma ordinaria constituyen un semigrupo, los números enteros con la suma o los racionales positivos con el producto son casos de grupos.

Algebras interesantes son, por ejemplo, las llamadas *de Boole* y los *anillos*, estructura ésta formada por un conjunto con dos operaciones, tal que con la primera se comporta como un grupo, mientras que la segunda es asociativa y distributiva respecto a aquélla. Un anillo típico es el conjunto de los números enteros con la suma y el producto.

El interés primordial del estudio de una determinada *estructura algebraica*, es decir, en términos más técnicos, de la pareja (A, $*$), formada por un conjunto genérico A y una operación $*$ definida por unas propiedades básicas dadas, está en el hecho de que el mismo sirve, de una vez por todas, para los diferentes casos concretos de conjuntos particulares cuyas operaciones obedezcan a idénticas propiedades básicas.

A la anterior idea informal puede dársele contenido y rigor matemáticos mediante un concepto especial muy importante, el de *homomorfismo*: tengamos (A, $*$) y (B, $\circ$); se dice que la segunda es una imagen homomorfa de la primera si existe una función, f, de A en B tal que si se opera en A y luego se halla el transformado, se obtiene el mismo resultado que si se determinan los transformados y luego se opera en B, es decir:

$$f(a * b) = f(a) \circ f(b)$$

para cualesquiera elementos a y b de A.

La estructura de grupo sirve para representar numerosos fenómenos de las ciencias naturales y sociales. En la figura adjunta se muestra un grupo que puede imaginarse corresponde a un cierto fenómeno físico. Se ve una pared con tres agujeros coloreados (a). El orden de los colores puede transformarse de seis formas diferentes (b) apretando los botones de la parte inferior. Estas transformaciones pueden considerarse como elementos de un grupo, tomando como operación entre ellas el hacer una tras otra; se comprueba fácilmente que se cumplen todas las condiciones de la estructura de grupo en la tabla (c). En (e) y (f) se ve que el grupo no es conmutativo. Una explicación del fenómeno sería imaginar que detrás de la pared hay un bloque triangular coloreado adecuadamente, como se ve en (d). Las seis operaciones se corresponderían con las seis sustituciones que son posibles en el mismo girándole 120°, 240° ó 360° y las correspondientes dándoles la vuelta.

Así se pone de manifiesto que resultados válidos en un caso se traducen al otro.

La situación puede ser aún más clara si la función f es una biyección (es decir: cada elemento de B es homólogo de uno, y sólo uno, de los elementos de A). Entonces se dice que es un *isomorfismo*; (A, $*$) y (B, $\circ$) se llaman *isomorfos* y *desde el punto de vista algebraico* no hay ninguna diferencia entre ellos. Un ejemplo, interesante por razones históricas y de aplicación aún actual, es el del isomorfismo existente entre los números reales positivos con el producto y los reales positivos y negativos con la suma, tomando como f la función logarítmica. Se tiene entonces que:

$$\log(x \cdot y) = \log x + \log y$$

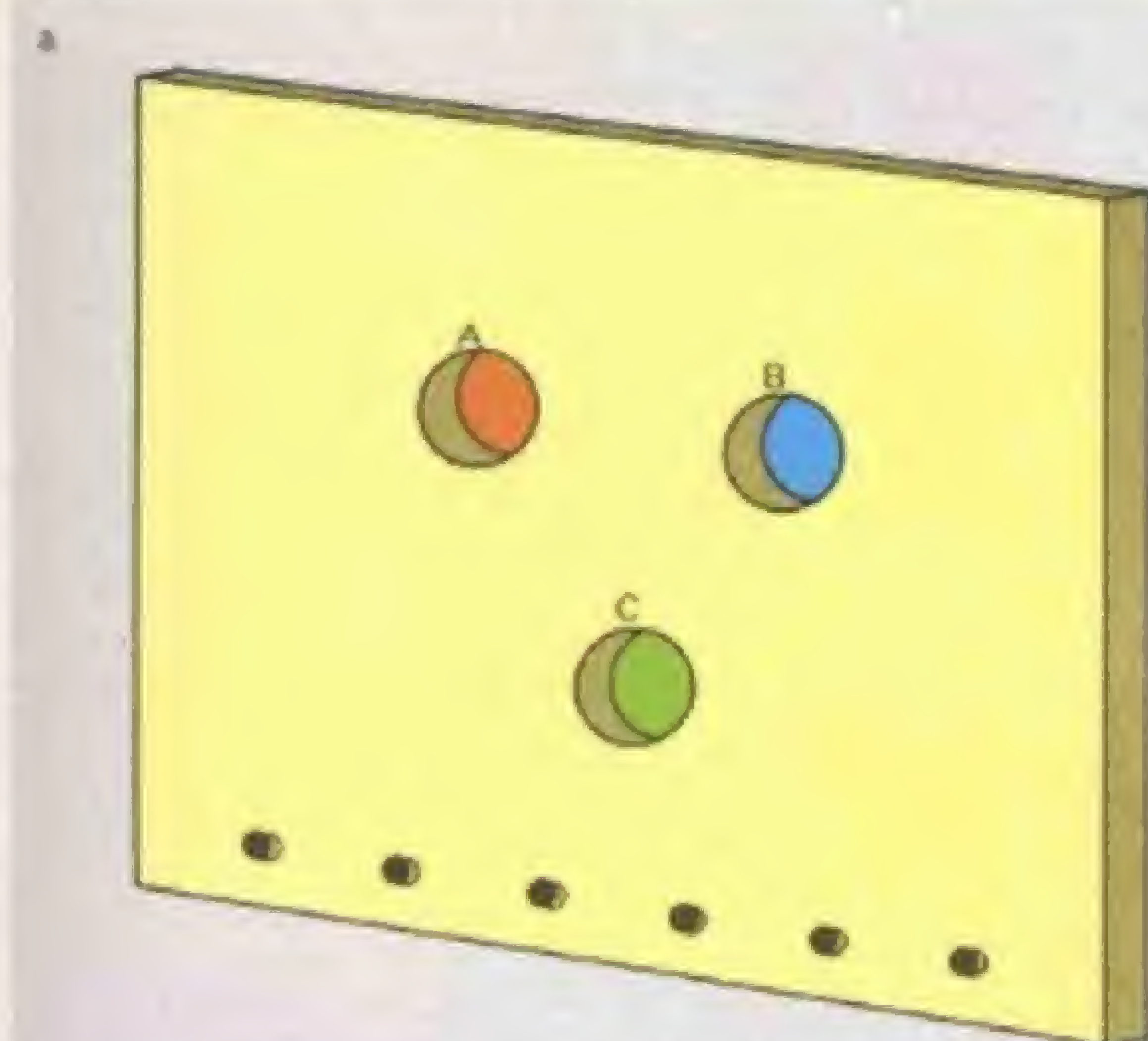
En algunos casos, la estructura puede hacerse más compleja por la consideración de lo que se denominan *operaciones externas*. Se dice que hay definida en A una operación externa sobre un dominio de operadores B cuando a cada pareja (a, α) en la que $a \in$ A y $\alpha \in$ B le corresponde un elemento de A. Estas operaciones pueden tener propiedades en cierto modo análogas a las de las operaciones internas. El caso más notable de estructura de este tipo es el de espacio vectorial.

Antes de terminar, es conveniente insistir en que la utilidad del Algebra moderna como disciplina matemática está precisamente en la posibilidad de estudiar de forma aislada y *pura* cada operación o cada conjunto de operaciones, es decir, cada *estructura algebraica*, y hacerlo de una forma general, extensiva a todos los casos, sea cual fueren las notas características de tipo concreto de cada una. Abstracción, generalidad, rigor, autonomía respecto a otras modalidades de lo matemático y, en último y principal lugar, economía de pensamiento.

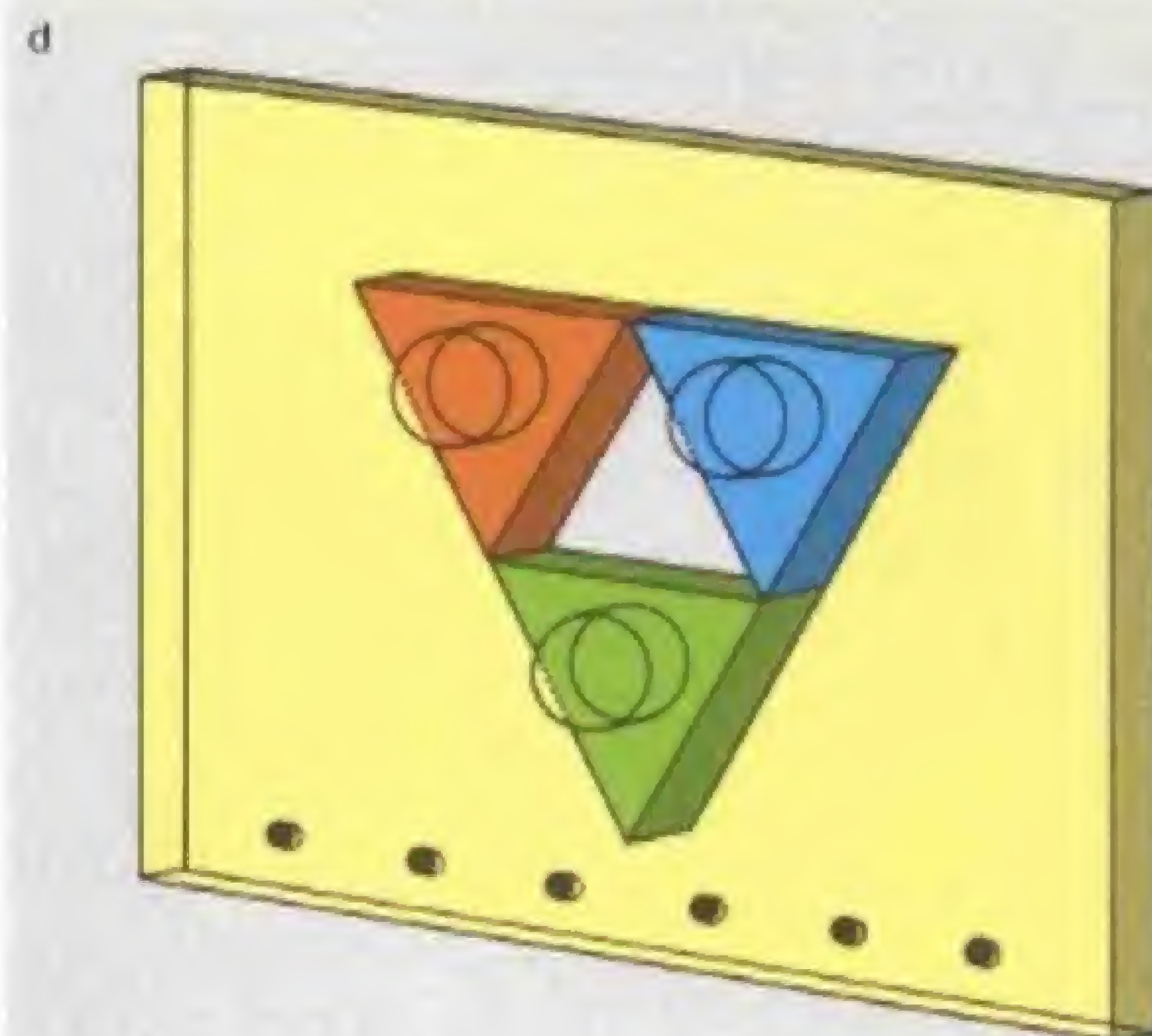
Nombre usual de la propiedad	Definición	
Distributiva de $*$ respecto a $\circ$	$a * (b \circ c) = (a * b) \circ (a * c)$	$\forall a,b,c \in$ A
	$(b \circ c) * a = (b * a) \circ (c * a)$	$\forall a,b,c \in$ A
Absorción por $*$ de $\circ$	$a * (a \circ b) = a$	$\forall a,b \in$ A
	$(a \circ b) * a = a$	$\forall a,b \in$ A

Véase: **Algebra de Boole; Aritmética; Ecuaciones e identidades; Espacios vectoriales y afines; Estructura matemática; Grupos, anillos y cuerpos; Números**

a



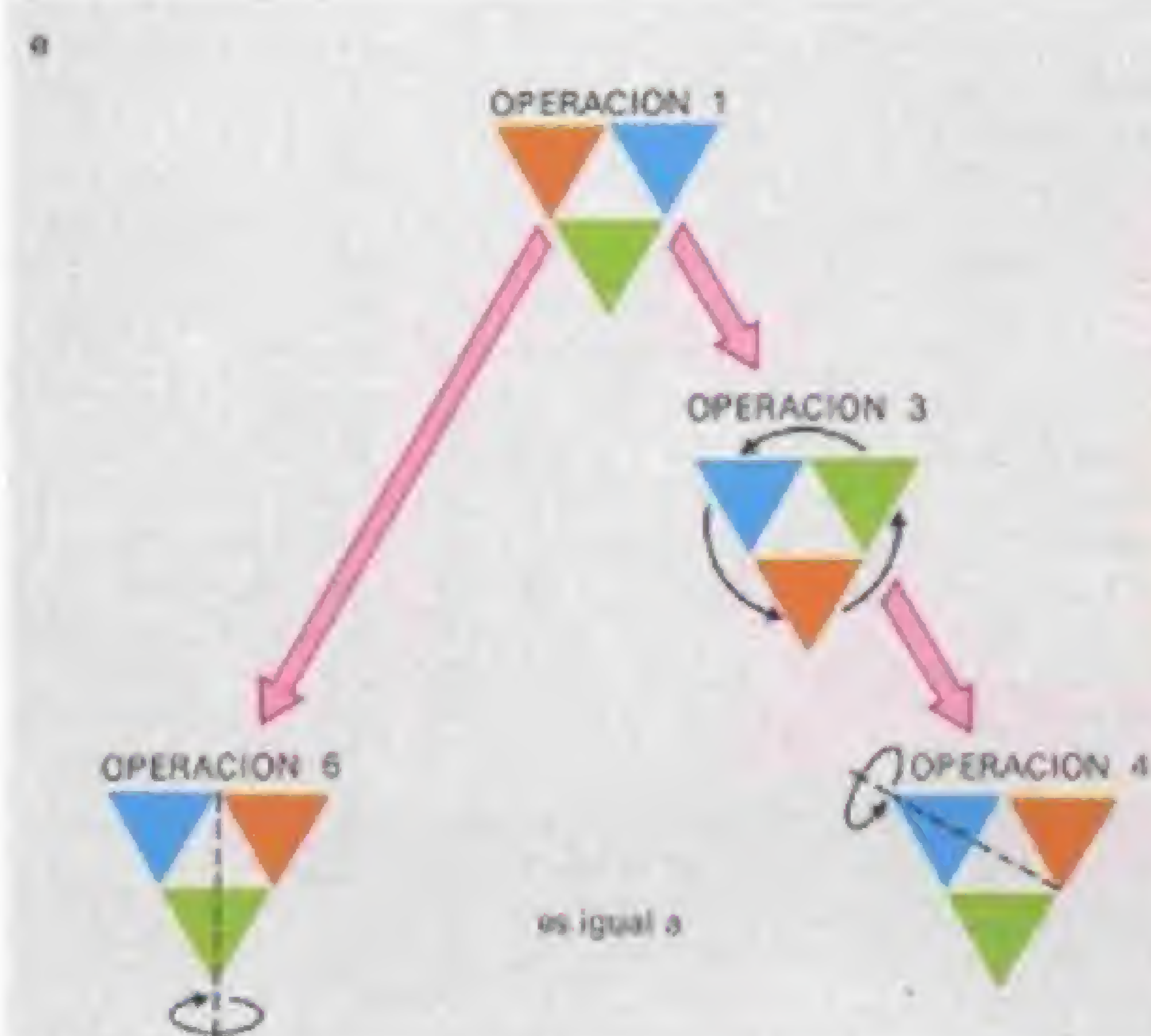
d



b

OPERACION	RESULTADO
1. Sin cambio:	
2. Intercambiar A y C:	
3. Remplazar A por B, B por C, C por A:	
4. Intercambiar C y B:	
5. Remplazar A por C, B por A, C por B:	
6. Intercambiar A y B:	

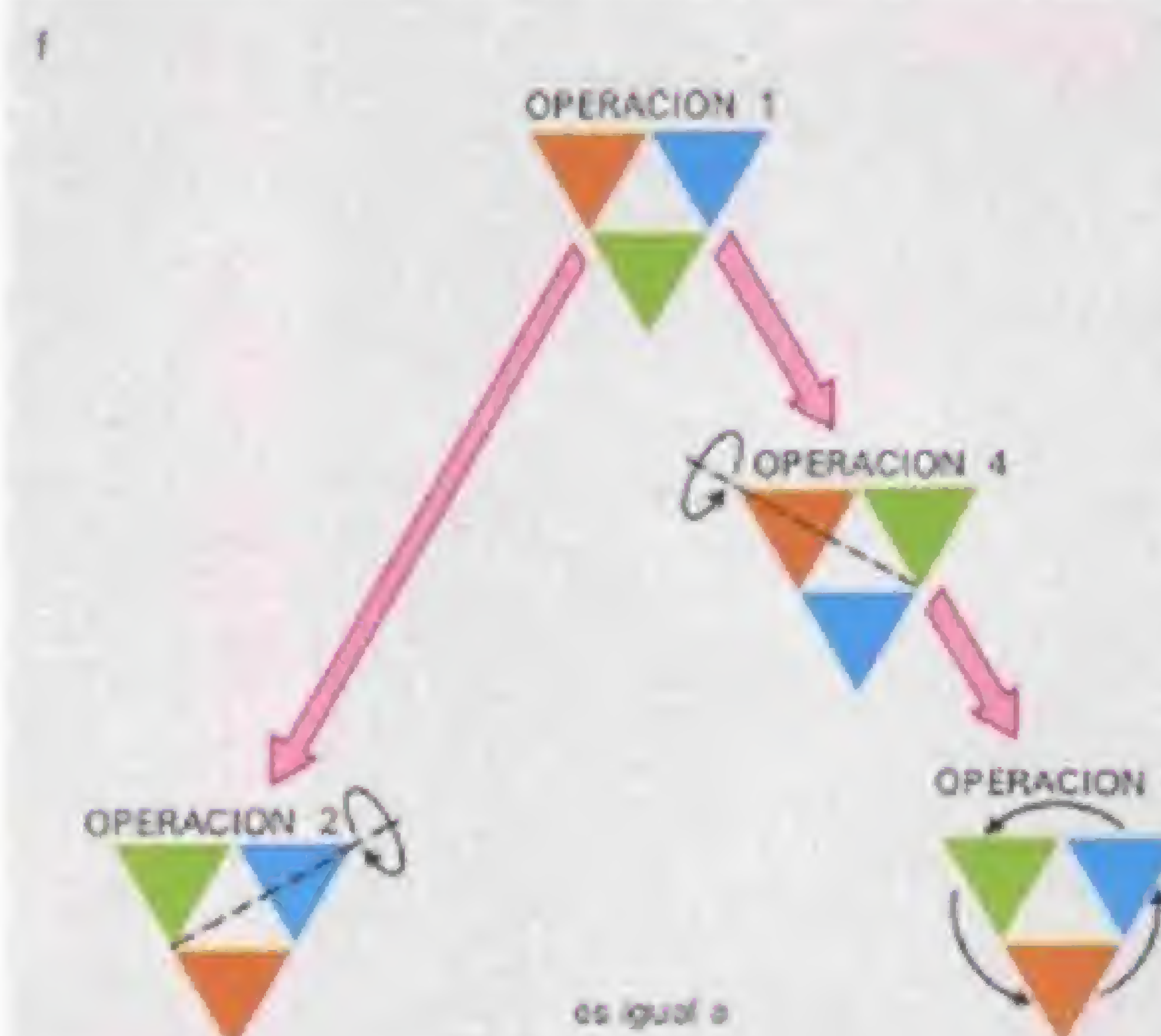
e



c

SEGUNDA OPERACION \ PRIMERA OPERACION	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	2	1	4	3	6	5
3	3	6	5	2	1	4
4	4	5	6	1	2	3
5	5	4	1	6	3	2
6	6	3	2	5	4	1

f



Algebra de Boole



El caso más sencillo e intuitivo de álgebra de Boole lo forman, con las operaciones conjuntistas de unión e intersección, las partes o subconjuntos de un conjunto dado. La ilustración muestra gráficamente algunas de sus propiedades. A representaciones de este tipo se les suele denominar "diagramas de Venn". Su utilidad desborda el caso de los conjuntos, porque sirven para cualquier otro álgebra de Boole, y por ello son útiles en lógica y en las técnicas de los circuitos digitales.

Abajo, los tres circuitos digitales representativos de las operaciones del álgebra de Boole.

George Boole (1815-1864) fue un importante matemático inglés cuyas contribuciones a las teorías de las ecuaciones diferenciales y en diferencias finitas son notables. Sin embargo, su transcendencia para la historia de la matemática, y del pensamiento en general, procede del hecho de ser uno de los creadores de la moderna lógica matemática. En 1847 publicó un pequeño pero claro, brillante e innovador libro titulado *The Mathematical Analysis of Logic* ("El análisis matemático de la lógica"), en el que sentó las bases del tratamiento algebraico de la lógica, siglo y medio después de los trabajos precursores de Leibniz (que, muy probablemente, no conocía) y el mismo año en que De Morgan publicó *Formal Logic*. En 1854 Boole reincide en el tema con *An Investigation of the Laws of Thought* ("Investigación sobre las leyes del pensamiento"), que es considerada su obra cumbre, en la que, por cierto, no se encuentran grandes novedades respecto de la anterior, aunque sí extensiones y aclaraciones. En estos trabajos se hallan las bases de una nueva lógica y de un nuevo álgebra, la de lo que actualmente se llaman "retículos y álgebras de Boole". Sin embargo, ni los matemáticos ni los lógicos del siglo XIX mostraron excesivo interés por estos descubrimientos, que sólo posteriormente han alcanzado la atención que merecían. Bertrand Russell, una de las cimas del pensamiento matemático y filosófico de nuestro siglo, ha llegado a afirmar que el mayor de los descubrimientos del siglo XIX fue, precisamente, el de la naturaleza de la matemática pura por obra de Boole (curiosamente Russell señala la fecha de 1854, en vez de la de 1847, como instante de dicho descubrimiento).

En sus trabajos citados, Boole utiliza, en el contexto de su aplicación a la lógica, una estructura algebraica que, con algunas diferencias, coincide con lo que hoy denominamos un *álgebra de Boole*, que es a su vez un caso particular de la denominada *retículo*. Diferentes tipos de retículos aparecen en numerosas áreas de la lógica y de la matemática modernas, por ejemplo en Teoría de Conjuntos, Algebra y Geometría. En particular, las álgebras de Boole constituyen un importante tema de estudio por sus aplicaciones en dichos campos y en el muy interesante —desde el punto de vista tecnológico— de los circuitos lógicos, utilizados en ordenadores, sistemas telefónicos, automatismos, etcétera.

Retículos Se dice que un conjunto A de elementos cualesquiera dotado de dos operaciones algebraicas (que pueden designarse por comodidad con los signos de la suma y el producto, pero que no deben confundirse con ellos) es un *retículo* si dichas operaciones tienen ambas las propiedades conmutativa, asociativa, idempoten-



George Boole (1815-1864) fue uno de los grandes matemáticos ingleses del siglo XIX. Pasó buena parte de su época creativa en Irlanda, donde fue, a partir de 1849, profesor en el Queen's College. En su infancia se inició, sin ayudas, en las lenguas clásicas; en su etapa escolar continuó con las modernas y las obras matemáticas de Lagrange y Laplace. Entre sus trabajos, destacan dos tratados sobre Ecuaciones Diferenciales y Ecuaciones en Diferencias Finitas. Conviene destacar, en el campo del Algebra, algunas aportaciones pioneras a la teoría de invariantes algebraicos. Resulta curioso que, en su época y hasta tiempos recientes, Boole haya sido más estimado por estos trabajos que por sus obras de lógica matemática citadas en el texto. El desarrollo actual, no sólo de la lógica matemática y de las aplicaciones de la Teoría de Retículos en muchas ramas de la Matemática, sino también de la electrónica digital ha popularizado a Boole.



te y de absorción de una respecto a la otra.

$$a+b=b+a \qquad a\cdot b=b\cdot a$$
$$a+(b+c)=(a+b)+c \qquad a\cdot(b\cdot c)=(a\cdot b)\cdot c$$
$$a+a=a \qquad a\cdot a=a$$
$$a+(a\cdot b)=a \qquad a\cdot(a+b)=a$$

para cualesquiera elementos del conjunto A.

Las anteriores propiedades pueden parecer, a primera vista, "chocantes" y muy alejadas de la experiencia real. Sin embargo, basta sustituir el conjunto genérico A por el conjunto de los números naturales, N, y dar a las operaciones $a\cdot b$ y $a+b$ las significaciones de *m.c.d (a,b)* y *m.c.m (a,b)* (máximo común divisor y mínimo común múltiplo de la pareja de números *a* y *b*) para que, de inmediato, se tenga un ejemplo concreto y elemental de retículo.

Naturalmente, puede haber retículos especiales con propiedades particulares. Un caso usual es que se trate de retículos distributivos, es decir, de retículos en los que las dos operaciones tienen la propiedad distributiva de una respecto a la otra.

Antes de seguir adelante conviene insistir en el carácter genérico y abstracto de los conjuntos que se consideran (sus elementos pueden ser números, otros conjuntos, proposiciones lógicas, etc). Y, consecuentemente, en la diferente significación que pueden tener las operaciones que hemos denotado con (+) y (·). Así, por ejemplo, puede tratarse de la unión e intersección de conjuntos, la disyunción y conjunción de proposiciones, etc. Ello hace que muchas veces se usen otros símbolos; por ejemplo: $a \cup b$ y $a \cap b$ (que se leen "unión de *a* y *b*" e "intersección de *a* y *b*") en vez de $a + b$ y $a \cdot b$.

Algebras de Boole Un *álgebra de Boole* es un retículo distributivo y complementario. Se dice que un retículo es complementario si para cualquiera de sus elementos, *a*, se encuentra otro, denominado *complementario de a* y representado por *a'*, tal que:

$$a + a' = 1$$
$$a \cdot a' = 0$$

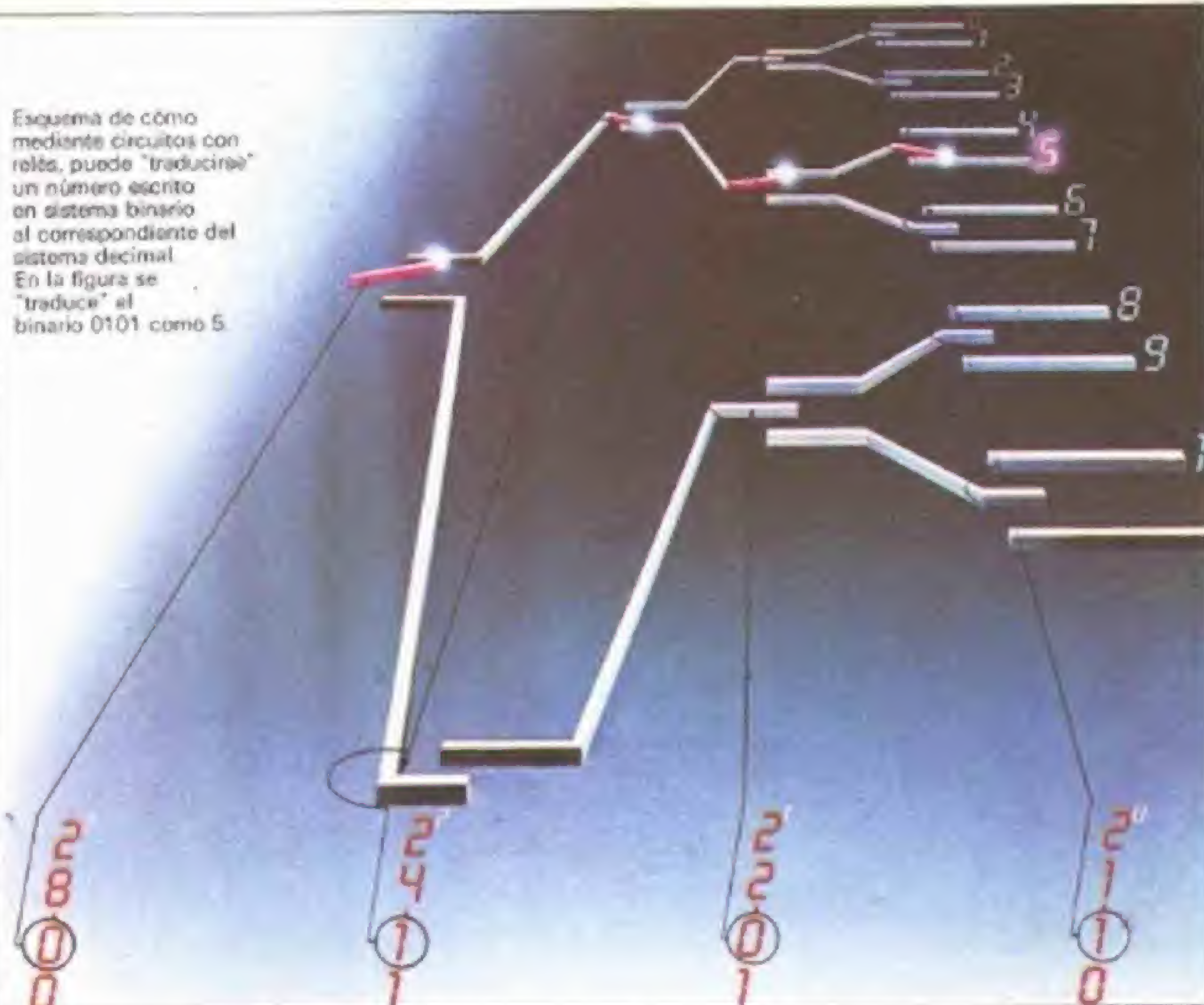
donde 0 y 1 son dos elementos existentes en el retículo, denominados, respectivamente, *ínfimo* y *universal* (que no tienen, en principio, nada que ver con el cero y la unidad numéricos, ya que pueden no ser números, y que, en muchos casos, se designan con otros símbolos, por ejemplo Ø y I). Consecuencias inmediatas de dicha definición son las siguientes igualdades:

$$(a')' = a \qquad 0' = 1 \qquad 1' = 0$$

Como se comprende fácilmente, una estructura algebraica como la que acaba de definirse se presta a tener múltiples propiedades. Unas de las más importantes son las llamadas "leyes de Morgan", que se expresan así:

$$(a + b)' = a' \cdot b'$$
$$(a \cdot b)' = a' + b'$$

y que se cumplen para cualquier par de elementos. Su significación es muy interesante y pone de relieve que, en realidad, de los tres símbolos que se usan en un álgebra de Boole, podría prescindirse de uno y definirle en términos de los otros dos.



Esquema de cómo mediante circuitos con relés, puede "traducirse" un número escrito en sistema binario al correspondiente del sistema decimal. En la figura se "traduce" el binario 0101 como 5.

Por otra parte, el examen de todas las propiedades, incluidas las leyes de Morgan, pone de manifiesto el llamado *principio de dualidad*, que no es sino la constatación de la simetría que se da entre las dos operaciones existentes en un álgebra de Boole y que, en términos elementales, podría enunciarse así: "De toda igualdad en un álgebra de Boole puede obtenerse otra cambiando cada término por su complementario y cada uno de los signos de operación por el otro".

Ejemplos y aplicaciones Citemos algunos ejemplos notables y elementales de álgebras de Boole:

a) El más simple es, sin duda, P(I) (I es un conjunto cualquiera y P(I) designa al conjunto de todas sus partes o subconjuntos), utilizando como operaciones la unión de conjuntos, la intersección de conjuntos y la complementación, siendo el ínfimo y el universal los conjuntos vacío Ø y el propio I.

b) Otro, que está en el origen de los estudios de Boole, es el siguiente: sea P un conjunto de proposiciones lógicas tal que si están en él un par, estén también su disyunción, su conjunción y sus negaciones; considérense como elementos ínfimo y universal, respectivamente, una proposición falsa y otra verdadera cualesquiera y dése a las operaciones "booleanas" la significación lógica de disyunción, conjunción y negación, es decir:

$p+q=p \vee q$ (léase "*p* o *q*")
$p \cdot q=p \wedge q$ (léase "*p* y *q*")
$p'=-p$ (léase "no *p*")

En este álgebra dos proposiciones son iguales cuando ambas son verdaderas o ambas falsas.

c) Un tercer ejemplo es el que da al álgebra de Boole un interés técnico. Sea C el conjunto de los posibles circuitos formados por un conjunto de conmutadores, considerando sus "estados" de "abierto" y "cerrado", que pueden designarse, respectivamente, como 0 y 1. Considérense las operaciones (+) y (·) como "paralelo" y "serie" de dos conmutadores y la complementación (') como "estado contrario" (*x'* está cerrado si *x* está abierto, y recíprocamente). Puede comprobarse fácilmente que se cumplen todas las condiciones para constituir un álgebra de Boole. Para ello han de considerarse iguales dos circuitos cuando sus estados coinciden, y como elementos ínfimo y universal, dos circuitos, respectivamente, con los estados 0 y 1 permanentemente.

d) Un ejemplo curioso y de gran interés es el siguiente. Sea C el conjunto de dos elementos {0,1} y defínanse las operaciones por las siguientes tablas:

+	0	1
0	0	1
1	1	1

·	0	1
0	0	0
1	0	1

x	x'
0	1
1	0

Se comprueba, de inmediato, el cumplimiento de todas las propiedades y, por otra parte, el hecho trivial de que los dos símbolos {0,1} podrían sustituirse por otros dos cualesquiera sin cambio ninguno.

Véase **Algebra; Conjuntos, teoría de; Lógica matemática; Ordenador, programas de**

Algodón

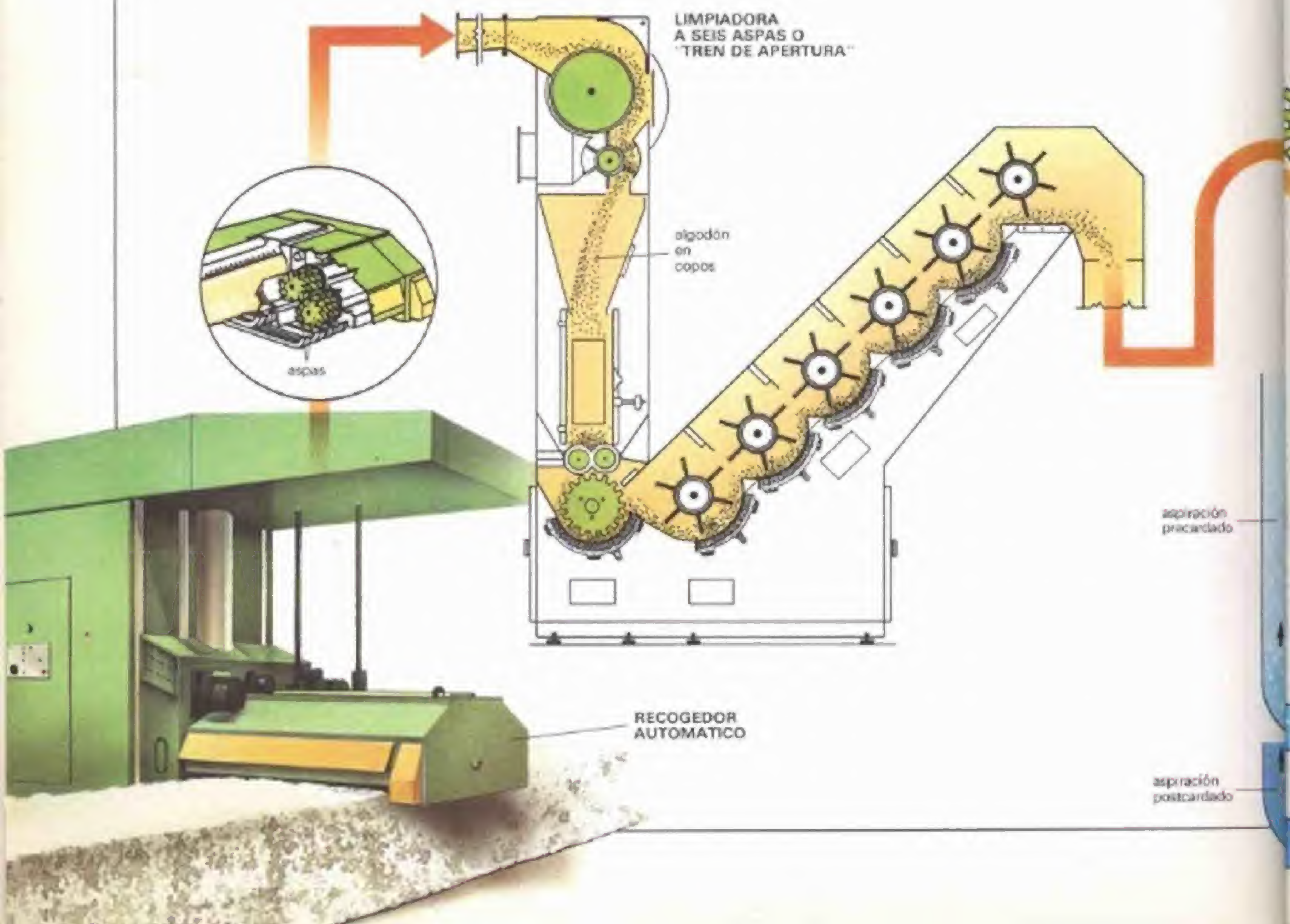
El algodón se usa como materia prima textil desde hace más de 3.000 años. Y aunque después de la II Guerra Mundial (1939-1945) se han puesto a punto varias clases de fibras sintéticas, ninguna de éstas se encuentra en condiciones de competir con el algodón en lo que se refiere a su poder absorbente, a la sensación que causa al tacto, a su "caída", características que han hecho popular al algodón no sólo en los sectores de los tejidos y la decoración sino también en los de productos sanitarios e industriales.

El cultivo del algodón Un campo de algodón maduro para la recolección tiene un aspecto casi fantástico, semejante a una enorme extensión de bolas de nieve, dispuestas a una altura de unos 90 cm hasta 180 cm, bajo un claro sol de verano. La planta del algodón, que pertenece al género *Gossypium*, necesita unos 200 días calurosos al año. Se cultiva en diversos países, pero principalmente en las zonas cálidas de EEUU, Unión Soviética, China, India, Paquistán, en los países de Oriente Medio y en Brasil. La siembra se efectúa en el primer período de calor uniforme del año, y la recolección, aproximadamente siete meses después. La flor, de un blanco aterciopelado, dura sólo uno o dos días, tras los cuales sus pétalos adquieren una coloración rosa para pasar después a un tinte violáceo. Los ovarios fecundados permanecen en la planta, formando cápsulas que adquieren su máximo tamaño en el plazo de seis u ocho semanas. Cuando las cápsulas se abren, transformándose en esponjosas "bolas de nieve", el algodón está en condiciones de ser recolectado. En muchos países, la recolección no se hace ya manualmente sino mediante el empleo de medios mecánicos, que presenta algunos problemas, ya que no todas las cápsulas se abren al mismo tiempo y además en un mismo campo se pueden recoger varias cosechas. Cada fibra de algodón es una sola célula —una de las más grandes que existen en el reino vegetal— constituida casi totalmente por celulosa.

El algodón en rama extraído de las cápsulas se encuentra todavía mezclado con semillas y otras impurezas, como polvo, ramas, trozos de hojas, etc. En esta fase, los dos tercios del peso del producto recolectado son semillas. De estas semillas se extrae, por presión, un aceite usado directamente como comestible o en la fabricación de sucedáneos de la grasa de cerdo o de la mantequilla. Los residuos obtenidos en el prensado de semillas se emplean como forraje para el ganado o como abono.

Para separar el algodón de las semillas y de las impurezas se procede a la operación de desgranado o desmotado. Después de esta operación, todavía quedan sobre las semillas pelos cortos llamados *linters*. Estos se separan de las semillas con un desmotado más enérgico. Se obtienen de esta forma fibras de celulosa útiles para rellenados, guatas, fieltros, etc. (Eli Whitney obtuvo una patente para el desmotado del algodón en 1794; el procedimiento fue posteriormente mecanizado y actualmente existen instalaciones de desmotado con varias líneas, cada una dotada de sesenta y hasta ochenta sierras circulares que separan las semillas, y de cepillos giratorios o chorros de aire para separar las fibras de los dientes de las sierras). El algodón obtenido después del desmotado se clasifica según el color y la longitud de las fibras —el algodón más blanco y de fibra más larga es el más apreciado— y asimismo es revisado. Después de la revisión, el algodón se empaqueta en balas de alrededor de 227 kg cada una, que posteriormente se envían a fábrica para su elaboración.

El *linter* tiene también diversas aplicaciones industriales: fabricación de baquel-



ta, de celofán, celuloide, explosivos, lacas, papel, barnices, etcétera.

Manufactura del algodón La primera tarea consiste en la carda del algodón para separar las fibras más cortas de las más largas, obteniéndose de tal forma algodón en cinta. Las máquinas cardadoras están compuestas por cilindros provistos de puntas de acero sobre los que se hace pasar el algodón para eliminar las impurezas y las fibras demasiado cortas y poner paralelas las fibras útiles. En este momento el algodón en cinta puede ser posteriormente refinado mediante la operación de peinado, que comprende una pasada por la máquina de estirar y juntar, y por la peinadora, con lo que las fibras se emparejan, estiran y orientan paralelamente unas con otras.

Después del cardado y del peinado, la cinta de algodón se transforma en hilo. A continuación viene la operación de tejer, mediante la cual se obtienen los tejidos en bruto, de color característico. Estos tejidos se elaboran generalmente en piezas de longitud variable de 45 a 180 metros.

Para facilitar el paso del material por los telares, las fibras dispuestas longitudinalmente, o sea, los hilos de la urdimbre, son tratadas con una solución de almidón. Los tejidos obtenidos son tratados posteriormente con enzimas específicos para eliminar el almidón de los propios tejidos. Después de haber eliminado la solución del enzima, el tejido de algodón se blanquea mediante el empleo de agua oxigenada. En este momento los tejidos en bruto están en condiciones de ser sometidos a las operaciones de acabado.

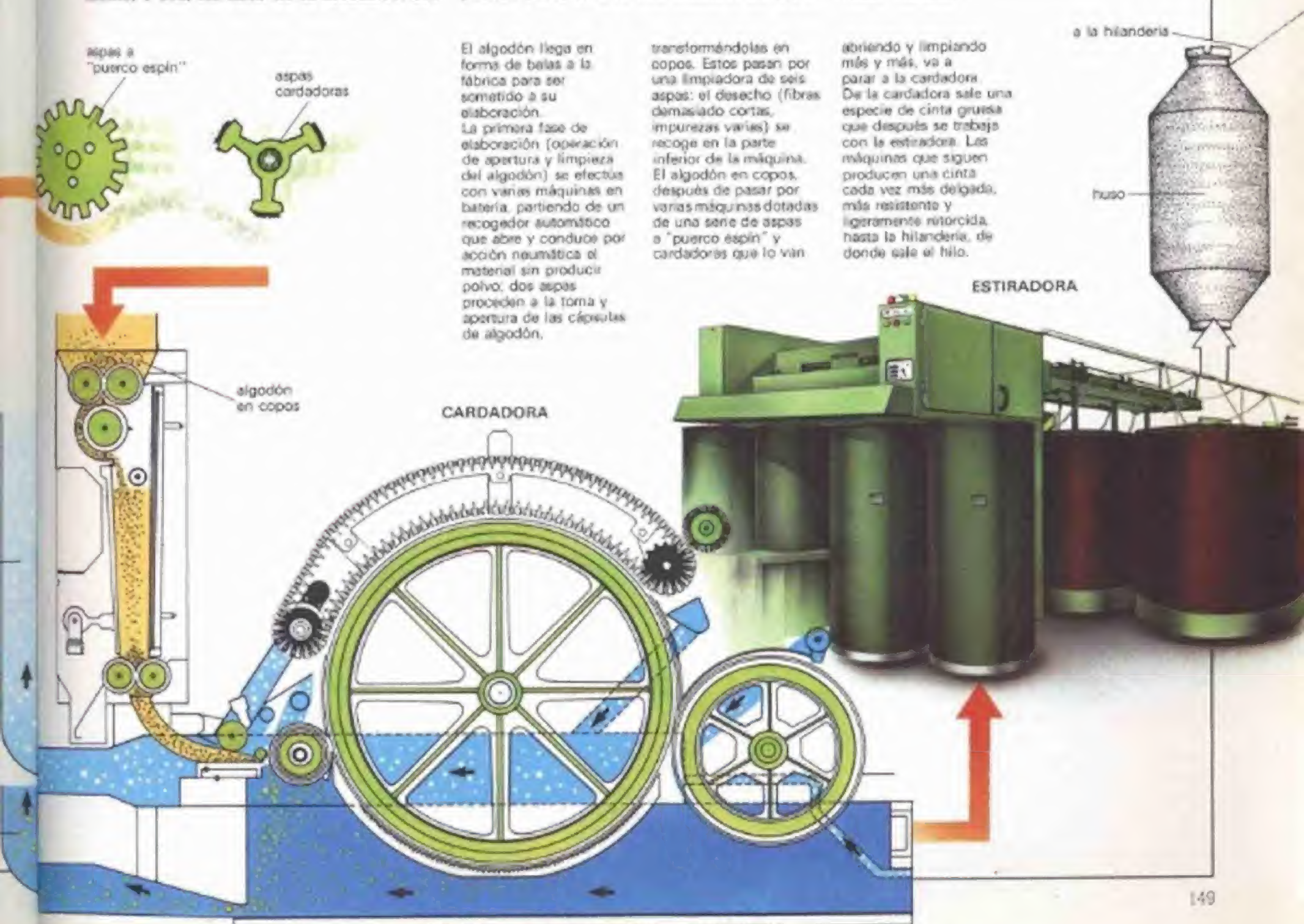
Un tejido se somete generalmente a varios procesos de acabado. La mercerización, por ejemplo, es una operación que prepara el tejido de algodón para su coloración. La mercerización toma el nombre de su inventor, John Mercer. El tejido se trata con hidróxido de sodio, producto químico fuertemente cáustico, que abre las cadenas moleculares del algodón y produce un hinchado del material a la vez que el relajamiento de las estructuras compactas de tipo helicoidal de los haces de fibras. El tejido tratado así adquiere un mayor poder absorbente. Asimismo, la mercerización da al tejido un suave brillo.

Las más importantes operaciones de acabado mecánico comprenden el tratamiento preventivo para que no encoja el tejido y la operación de satinado. En el primer caso, se lava una muestra de tejido para determinar el porcentaje de merma. Si, por ejemplo, un determinado trozo de tela encoge el 10%, toda la partida correspondiente se trata con una máquina, estabilizándose por efecto de la presión y la humedad. Los vestidos confeccionados en este tejido no encogerán aunque se laven.

La operación de satinado da al tejido de algodón una mayor suavidad y brillo y lo hace más terso. En este acabado se hace pasar el tejido a través de cilindros giratorios que por efecto de la presión eliminan todos los puntos rígidos del propio tejido.

Existe además toda una gama de operaciones de acabado químico, en las que, mediante el empleo de oportunos reactivos, se da al tejido diversas características (por ejemplo: inarrugabilidad, impermeabilidad, no inflamabilidad). Una vez terminadas las operaciones de acabado, los tejidos de algodón se revisan, después se envuelven en rollos o se pliegan en superficies planas y, una vez embalados, se envían a las diversas fábricas para su posterior transformación en diferentes artículos, entre ellos cortinajes, vestidos, tapicerías, o incluso techos con revestimiento vinílico para automóviles.

Véase **Hilados**



El algodón llega en forma de balas a la fábrica para ser sometido a su elaboración. La primera fase de elaboración (operación de apertura y limpieza del algodón) se efectúa con varias máquinas en batería, partiendo de un recogedor automático que abre y conduce por acción neumática el material sin producir polvo; dos aspas proceden a la toma y apertura de las cápsulas de algodón, transformándolas en copos. Estos pasan por una limpiadora de seis aspas: el desecho (fibras demasiado cortas, impurezas varias) se recoge en la parte inferior de la máquina. El algodón en copos, después de pasar por varias máquinas dotadas de una serie de aspas a "puerco espín" y cardadoras que lo van abriendo y limpiando más y más, va a parar a la cardadora. De la cardadora sale una especie de cinta gruesa que después se trabaja con la estiradora. Las máquinas que siguen producen una cinta cada vez más delgada, más resistente y ligeramente retorcida, hasta la hilandería, de donde sale el hilo.

Algoritmo

El término *algoritmo* y el concepto que designa han estado, hasta tiempos recientes, envueltos en una cierta nebulosa. La palabra, con pequeñas variantes a lo largo del tiempo y según los diferentes idiomas cultos, tiene varios siglos de antigüedad y se viene usando con mayor intensidad desde Leibniz (1646-1716); sin embargo se hacía desconociendo su origen o buscándole etimologías engañosas, como la de que se trataba de una deformación de la palabra *logaritmo*, con la que (a pesar del parecido) no tiene ninguna relación. Fue en pleno siglo XIX cuando los arabistas pusieron de manifiesto que *algoritmo* deriva del nombre de al-Joarizmi, matemático persa del siglo IX, en realidad de la región de Joarezm (actual Uzbekistán), autor de varios libros, entre ellos uno de Álgebra y otro de Aritmética. Este último se dedicaba a presentar el sistema de numeración, escritura y cálculo decimales, que es de origen indio. Sólo se conserva la traducción al latín, realizada en la España del siglo XII, con el título significativo *De numero indorum*, que comienza con la frase "Algoritmi ha dicho", origen de la cuestión. Al respecto es curioso señalar que en castellano existe otra palabra, *guarismo* (que está cayendo en desuso), con la misma etimología y que es sinónima de *cifra*, vocablo éste con equivalentes casi idénticos en otros idiomas también de origen árabe.

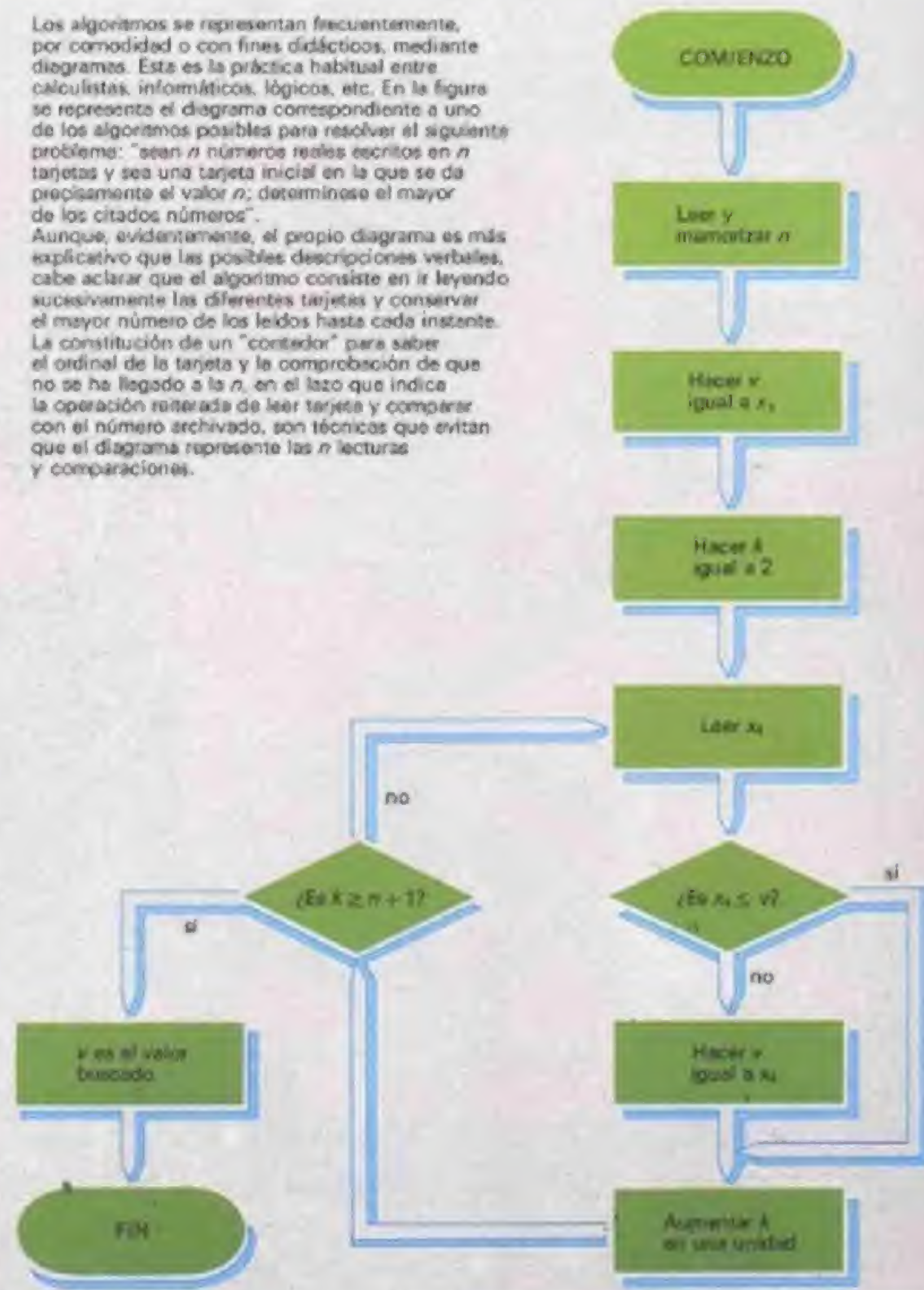
Volviendo al concepto de *algoritmo*, es interesante observar que durante siglos ha tenido significados un tanto vagos. Ha venido a equivaler a *proceso de cálculo* o *conjunto de reglas para resolver un problema* o, incluso, en algunos casos se emplea como sinónimo de *cálculo* o *reglas de cálculo*; así se habla, por ejemplo, del *algoritmo algebraico* o del *algoritmo infinitesimal*. El propio Leibniz lo utilizó en el contexto de una *logística* o intento de crear un cálculo de la lógica. Incluso soñó con la invención de un algoritmo universal para la resolución de cualquier problema.

Es también importante señalar otro aspecto de la cuestión, y es la batalla que durante siglos libraron los algoritmistas contra los abaquistas. Los primeros eran partidarios del cálculo utilizando los algoritmos derivados del sistema de numeración al modo que aún hoy hacemos, mientras los segundos utilizaban ábacos. A lo largo del siglo XIII la victoria se va inclinando progresivamente a favor de los partidarios del algoritmo, uno de cuyos más notables defensores, Leonardo de Pisa, más conocido por *Fibonacci*, escribirá un libro que, paradójicamente, se titula *Liber Abaci* ("Libro de los Ábacos") y consagra el sistema hindo-árabe, tras mil años de ser ignorado por el mundo grecolatino y medieval y de una lenta penetración propiciada por las traducciones hechas en España y Sicilia y por los intensos contactos de todo tipo realizados en el Mediterráneo.

El concepto moderno de algoritmo Las necesidades de la moderna matemática aplicada (a la lingüística, a los juegos de estrategia, al cálculo numérico, etc.), el uso de máquinas de calcular, que exigen programas inequívocos y a base de operaciones elementales, y el propio afán de la matemática teórica de aclarar conceptos y hacerlos generales y abstractos, han conducido a que el de algoritmo adquiriese nueva



El trabajo de Gregorius Reisch (muerto en 1523), titulado *Margarita Phylosophica*, que puede considerarse como la primera enciclopedia "moderna", resulta notable por la información sobre matemáticas y astronomía que contienen sus doce libros. Esta obra tuvo tan gran éxito, que alcanzó en un siglo 16 ediciones, la primera en Friburgo en 1503 y la segunda en Estrasburgo en 1504. Precisamente en el grabado que se reproduce —correspondiente a la edición de 1504— se contempla una alegoría de la polémica entre un abaquista y un algoritmista (por cierto, poco acertadamente representados por Pitágoras y Boecio).



Los algoritmos se representan frecuentemente, por comodidad o con fines didácticos, mediante diagramas. Ésta es la práctica habitual entre calculistas, informáticos, lógicos, etc. En la figura se representa el diagrama correspondiente a uno de los algoritmos posibles para resolver el siguiente problema: "sean n números reales escritos en n tarjetas y sea una tarjeta inicial en la que se da precisamente el valor n; determínese el mayor de los citados números".
Aunque, evidentemente, el propio diagrama es más explicativo que las posibles descripciones verbales, cabe aclarar que el algoritmo consiste en ir leyendo sucesivamente las diferentes tarjetas y conservar el mayor número de los leídos hasta cada instante. La constitución de un "contador" para saber el ordinal de la tarjeta y la comprobación de que no se ha llegado a la n, en el lazo que indica la operación reiterada de leer tarjeta y comparar con el número archivado, son técnicas que evitan que el diagrama represente las n lecturas y comparaciones.

relevancia y que, por otra parte, se hiciese un esfuerzo por darle rigor y claridad.

Así, hoy día, se llama *algoritmo matemático* de un problema determinado al procedimiento de cálculo que mediante una sucesión de operaciones lógicas o matemáticas sencillas y bien definidas conduce a la solución del problema después de un número finito de ellas.

Los ejemplos más clásicos y simples son, sin duda, los algoritmos de las operaciones aritméticas elementales, el de la extracción de raíces cuadradas con un error menor que una cota preestablecida, el algoritmo de Euclides para el cálculo del máximo común divisor, etcétera.



Antes de que hubiese realmente ordenadores, Turing, en 1936, inventó el modelo teórico de los mismos: las llamadas "máquinas de Turing" (MT). ¿Qué es una MT? Se trata de un sistema formado por un autómata finito con un dispositivo que mueve, lee e imprime en una cinta de papel larga (potencialmente infinita). El autómata puede estar en uno cualquiera de un número finito de estados internos (1, 2, ... *n*). La cinta está dividida en campos, en cada uno de los cuales hay escrito un "cero" o un "uno" (o, lo que es lo mismo, está en blanco o con un punto), siendo el número de "unos" finito. ¿Cómo funciona? Cuando el sistema está en el estado interno *i* y "lee" en la cinta el valor *e*, adquiere el nuevo estado *j*, mueve la cinta *p* campos ($p = 1$ si da uno para adelante, $p = 0$ si queda quieta, $p = -1$ si da uno para atrás) y "escribe" *f* en el nuevo campo en vez del valor que hubiese (naturalmente *e* y *f* sólo pueden ser "ceros" o "unos"). ¿Qué define a la MT? Precisamente la ley que da *j*, *p* y *f*, conocidos *i* y *e*.

La venganza de los abaquistas Sin embargo, como cualquier lector matemáticamente exigente habrá observado, la anterior "definición" de algoritmo no es la de un concepto matemático, en el sentido que lo son, por ejemplo, las de número o triángulo; por lo tanto, no pasa de ser una descripción informal de lo que se entiende por *algoritmo* y, por consiguiente, no es susceptible de ser objeto de una teoría matemática que pudiera merecer el nombre de *Teoría de Algoritmos* y dedicarse precisamente a estudiar bajo qué condiciones un problema tiene un algoritmo que lo resuelva, y las propiedades de éste.

Durante cierto tiempo los matemáticos se han dedicado a precisar el concepto y, como sucede en otros muchos temas, acabaron por darle la vuelta a la dificultad. Durante el segundo tercio de nuestro siglo se han encontrado varias soluciones, todas ellas equivalentes pero desde perspectivas diferentes. La más interesante —¡y sorprendente para al-Joarizmi y Fibonacci!— fue la de Turing, matemático inglés, creador entre otras cosas de un concepto fundamental para la Informática, la Cibernética, la Matemática y la propia Filosofía: el de *máquina de Turing*. En términos muy esquemáticos podría decirse que una máquina de Turing es un ordenador ideal (tan idealizado, que Turing tuvo la idea en 1936) diseñado para resolver un determinado problema.

Entonces, la solución consiste en identificar los conceptos de *algoritmo* y *esquema* realizable con una máquina de Turing (Hipótesis de Turing o Hipótesis Fundamental de la Teoría de Algoritmos).

La cuestión puede ir más lejos. Turing creó el concepto de máquina universal de Turing, que es la susceptible de hacer el trabajo de cualquier máquina de Turing, es decir, de realizar cualquier algoritmo (lo que, por razones largas de explicar, no significa resolver cualquier problema).

Nos encontramos así con una historia curiosa y paradójica: durante milenios hubo que realizar los cálculos más sencillos con ábacos u otros medios elementales (dedos, cuentas, etc.) porque no se disponía de un sistema de representación numérica adecuado para hacerlos con papel y lápiz; por fin se consigue imponer el sistema hindoárabe con sus correspondientes algoritmos hacia el siglo XIII... ¡y los siglos siguientes acaban probando cómo la ciencia, la técnica, el comercio y la administración necesitan máquinas de calcular, que vienen a ser *ábacos mecánicos o electrónicos que automatizan algoritmos*! Y, lo que es más profundo, se ha visto que un *algoritmo* no es sino lo que puede hacer un *ábaco* (léase *máquina de Turing*).

En las consideraciones sobre el "pensamiento" de hombres y máquinas se suelen utilizar los adjetivos de *algorítmico* y *heurístico*. El pensamiento de la primera clase sería el sometible a normas mecanizables, análogo en el hombre y en la máquina; el segundo sería creativo, imprevisible y propiamente "humano".

Véase Abaco; Cálculo numérico; Lógica matemática; Ordenador; Sistemas de numeración

El matemático inglés Alan Turing (1912-1954) ha sido uno de los pioneros en el campo de la inteligencia artificial. Alguien ha llegado a decir que se le podía llamar el "Einstein de las máquinas de proceso de datos" (aunque quizá dicho título lo merecieran también un Babbage o un von Neumann). En 1936, publicó un artículo cuyo título angloalemán, *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem* ("Sobre los números computables, con una aplicación al problema de la decisión"), da ya una idea de su dificultad: en él se encuentran los fundamentos teóricos sobre las máquinas lógicas, que ahora llamamos "máquinas de Turing". Trabajó en los proyectos ingleses de ordenadores. Murió joven y, como dicen algunos biógrafos, en un "accidente con productos químicos" (¿suicidio?). Su madre, Sara Turing, escribió su biografía en 1959.



Alimentación, carencias

Una dieta inadecuada puede conducir al hombre a una serie de trastornos conocidos como *enfermedades carenciales*. Cabe distinguir dos grandes tipos de malnutrición: por un lado, aquellos estados caracterizados por un defecto fundamentalmente referido al aporte energético (déficit cuantitativo), y otras situaciones en las que el déficit es de determinados constituyentes esenciales de la dieta (déficit cualitativo).

Deficiencias calóricas El consumo de una dieta carente del número de calorías adecuado es una situación frecuente y constituye el problema médico y político más importante de la Humanidad. Evidentemente, el hombre puede subsistir con dietas de valor calórico inferior al que normalmente se considera necesario. Las consecuencias de esta situación han sido estudiadas experimentalmente en jóvenes voluntarios a los que se suministró una dieta con un contenido de calorías correspondiente a un 45% del consumido habitualmente. Los sujetos perdieron, por término medio, un 24% de su peso, estabilizándose en esta cifra a causa de una disminución del metabolismo basal, así como de un descenso en el coste de la actividad física y en la actividad espontánea. El individuo hiponutrido se comporta como una persona apática y reacia a realizar cualquier esfuerzo.

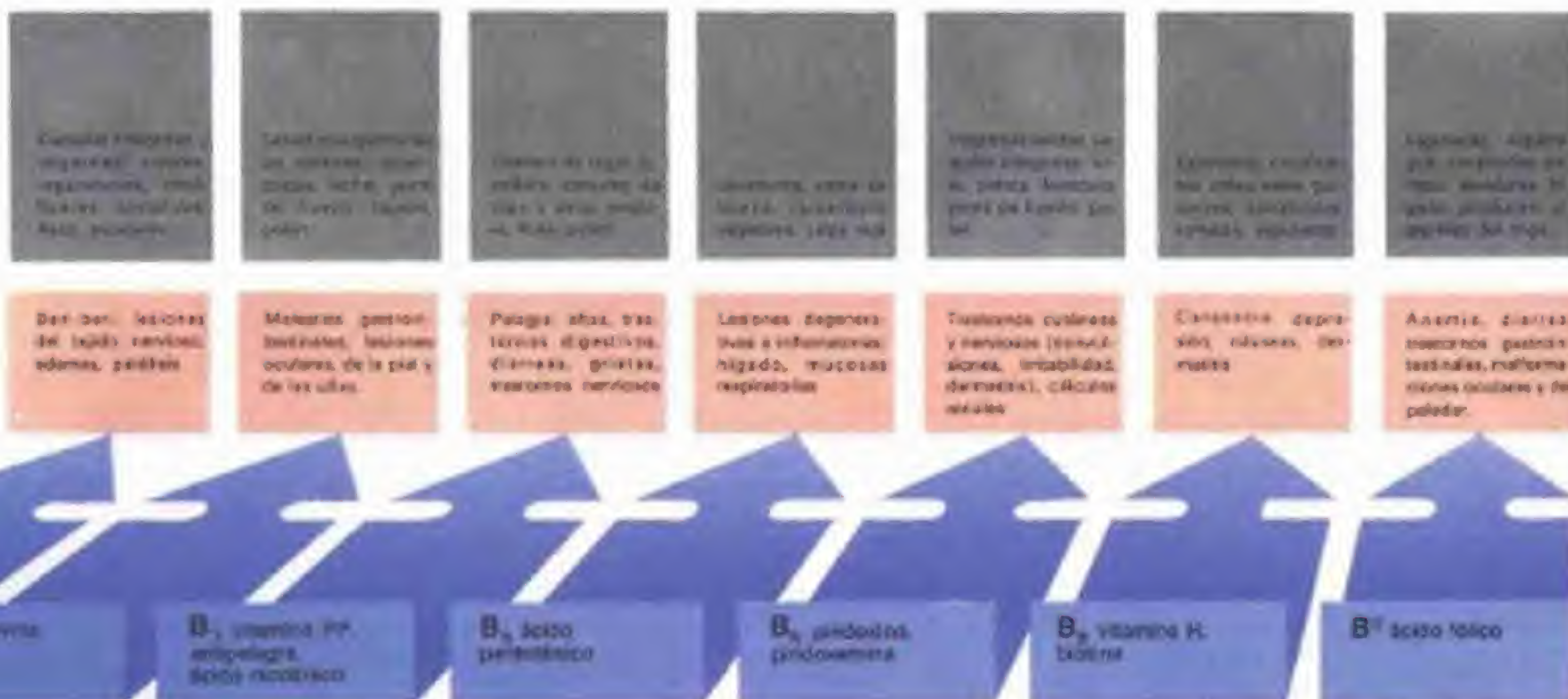
La malnutrición calórica puede ir acompañada de una deficiencia de proteínas, constituyendo el llamado *síndrome pluricarencial infantil* o *malnutrición caloricoproteica*. Las dos formas extremas de este cuadro se denominan *marasmo* y *kwashiorkor*. La primera de estas enfermedades consiste en una deficiencia de calorías y de prácticamente todos los nutrientes esenciales, y suele aparecer entre los seis y ocho primeros meses de la vida; mientras que la segunda, fundamentalmente por la carencia de proteínas, aparece en el primer o segundo año.

Deficiencias cualitativas en la nutrición Aunque la dieta tenga un valor calórico adecuado y cantidades suficientes de algunos nutrientes determinados, la ausencia o el simple déficit de uno de estos puede dar lugar a una serie de enfermedades de distinta gravedad que reciben en general el nombre de enfermedades carenciales.

Habida cuenta de la cantidad de nutrientes esenciales que precisa el organismo, el número de enfermedades carenciales posibles es enorme, si bien muchas de estas posibles enfermedades son, por el momento, desconocidas. Existen, sin embargo, cuatro avitaminosis clásicas cuya existencia



La vitamina D es el único nutriente que puede formarse en la piel por efecto de los rayos ultravioleta; todos los demás nutrientes deben ingerirse con los alimentos. La falta relativa de sol en Europa septentrional y los humos industriales, que detienen parte de la luz solar, hicieron del raquitismo —producido por la falta de la vitamina D— una enfermedad frecuente en Europa durante la Revolución Industrial, que en los barrios obreros de las ciudades más industrializadas se unía a otras enfermedades carenciales, fruto de la pobreza, la desnutrición y el hacinamiento. En la página siguiente, ilustración de los procesos metabólicos que experimenta la vitamina D (colecalciferol) desde su entrada en el organismo, ya sea con los alimentos o bien gracias a la acción de los rayos ultravioleta sobre la piel. Esta vitamina es imprescindible para la correcta fijación del calcio en los huesos. Abajo, diagrama que ilustra las distintas vitaminas hidro y liposolubles (morado y azul, respectivamente), así como los síntomas originados por su carencia (rosa) y sus principales fuentes alimenticias (gris).



es conocida ya desde hace siglos: escorbuto, beriberi, pelagra y raquitismo.

El *escorbuto* es una enfermedad producida por un déficit en el suministro de vitamina C. Esta enfermedad, que hizo estragos en las tripulaciones de los barcos durante la época de los grandes viajes, fue excelentemente descrita por los exploradores españoles de las costas del Pacífico; pero no es hasta 1735 cuando el médico de la Marina británica James Lind descubre la relación existente entre la aparición de esta enfermedad y la ausencia en la dieta de los marineros de alimentos tales como la fruta fresca, las hortalizas o las verduras.

Cincuenta años después del descubrimiento de Lind, el escorbuto había desaparecido prácticamente de los barcos de guerra de la Marina inglesa gracias a la administración de zumos de cítricos.

El escorbuto, producido por la carencia de ácido ascórbico (vitamina C), causa alteraciones en el tejido conjuntivo que se traducen en lesiones en los huesos y en las paredes de los vasos capilares, que, a su vez, producen hemorragias, principalmente en las encías y en la piel.

El *beriberi* es una enfermedad que se presenta en países orientales cuya dieta se basa fundamentalmente en el arroz, sobre todo a partir de la implantación de máquinas destinadas a descascarillar este cereal. En 1885, un médico japonés llamado Takaki demostró que esta enfermedad era debida al consumo excesivo de arroz blanco descascarillado, consiguiendo hacer desaparecer el mal entre los marineros con sólo sustituir parte de esta ración de arroz por leche y alimentos vegetales frescos.

El beriberi tiene su origen en la ausencia de cantidad adecuada de vitamina B_1 (tiamina), que se encuentra abundantemente en la cáscara del arroz. Se presenta fundamentalmente en dos formas: una, en la que predominan signos neurálgicos —alteraciones de la marcha, dolor en la pantorrilla, trastornos de la sensibilidad—, y otra, en la que los principales síntomas son generalmente de carácter circulatorio —dilatación del corazón e insuficiencia circulatoria—. Esta enfermedad sigue siendo una importante causa de muerte en aquellos países que se alimentan fundamentalmente de arroz.

La *pelagra* es una enfermedad frecuente en poblaciones que consumen dietas cuyo principal componente es el maíz. La primera mención de esta enfermedad se debe al español Gaspar Casal, quien en 1735 hace una descripción muy precisa de la misma, asignándole el nombre de "mal de la rosa" por las características lesiones cutáneas en el dorso de las manos, en los pies y alrededor del cuello. Aunque el propio Casal relacionaba ya esta enfermedad con la dieta, fue en 1914 cuando Joseph Goldeberger demostró el carácter carencial de la misma, y en 1937 cuando se demuestra que la enfermedad es debida a la carencia de ácido nicotínico (niacina).

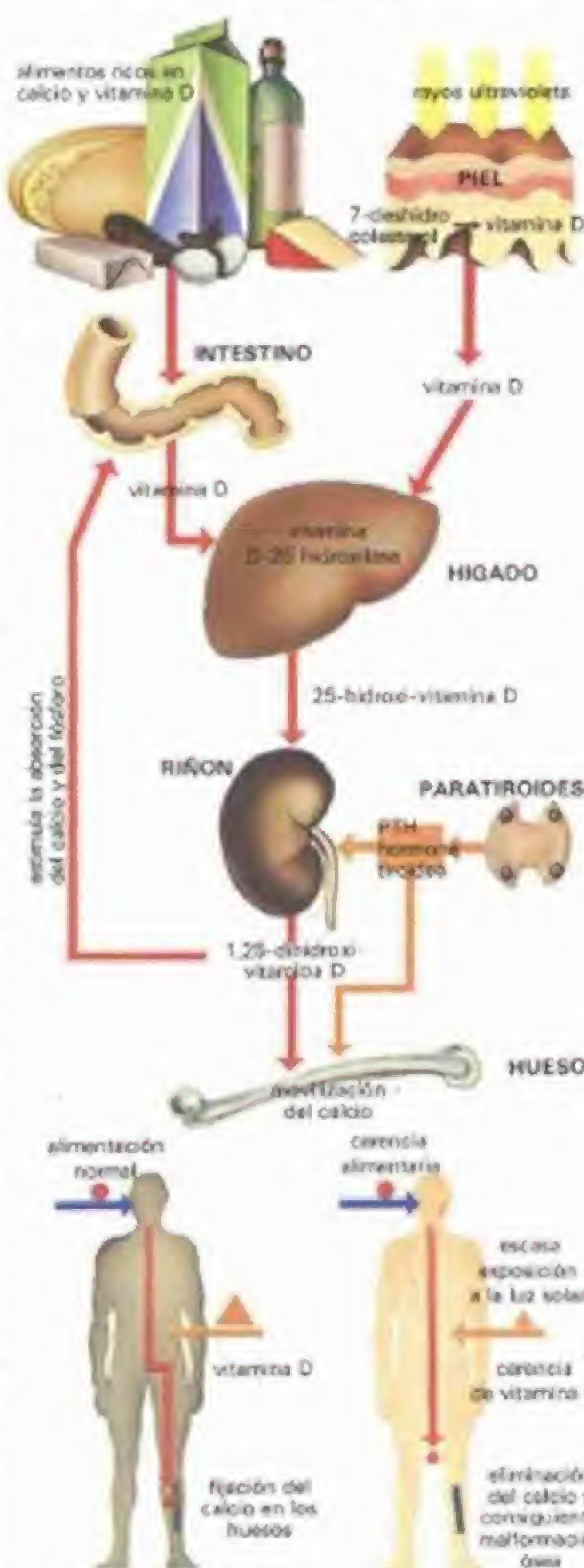
La pelagra es conocida también como enfermedad de "las tres D", nombre que alude a sus manifestaciones cutáneas —dermatitis—, digestivas —diarrea— y mentales —demencia—, manifestaciones que se pueden curar con el suministro de ácido nicotínico.

El *raquitismo* es otra de las enfermedades carenciales clásicas, cuyas primeras descripciones se deben a los médicos ingleses Whistler y Glisson a mediados del siglo XVII. Se trata de una enfermedad infantil debida a la carencia de vitamina D, y consiste fundamentalmente en una alteración en el desarrollo de los huesos, que aparecen blandos y deformados por falta de esta vitamina, básica para el metabolismo del calcio.

Dado que la vitamina D puede formarse por la acción de la radiación ultravioleta de los rayos solares sobre una sustancia que se encuentra en la piel, el raquitismo es más frecuente en aquellos países de poca irradiación solar, si bien en países soleados del Tercer Mundo es también común por la costumbre de mantener a los niños envueltos en ropa o en el interior de las viviendas.

Véase **Alimentación y nutrición; Alimentos; Aminoácidos; Proteínas; Vitaminas**

METABOLISMO DE LA VITAMINA D



B_{12} cianocobalamina	C antiescorbútica, ácido ascórbico	C_2 vitamina P	A antixeroftálmica	D antirraquítica	E tocoferol	K antihemorrágica
Anemias (perniciosa, hemorrágica, alimentaria) y neuralgias diversas.	Escorbuto: postración, ulceraciones y hemorragias de las encías, caída de los dientes y del pelo	Escorbuto hemorrágico, hemorragias capilares y vasculares, edemas, pleuritis, accesos, anemia	Xeroftalmía, ceguera crepuscular, adelgazamiento, menor resistencia a las infecciones	Raquitismo en los niños, osteomalacia en los adultos, anemia	Trastornos en los órganos genitales, en la piel, cardiovasculares y neuromusculares	Hemorragias (espontáneas o después de traumas leves)

Alimentación y nutrición

Con mucha frecuencia, los términos *nutrición* y *alimentación* son usados como si fuesen sinónimos, cuando en realidad describen dos procesos que, si bien se encuentran íntimamente ligados, son diferentes en muchos aspectos.

En efecto, por *nutrición* entendemos el conjunto de procesos mediante los cuales nuestro organismo utiliza, transforma e incorpora a sus propios tejidos un cierto número de sustancias, que han de cumplir tres fines básicos: aportar la energía necesaria para que se mantengan la integridad y el perfecto funcionamiento de las estructuras corporales, proporcionar los materiales precisos para la formación de estas estructuras y, por último, suministrar las sustancias necesarias para regular el metabolismo. Por el contrario, la *alimentación* es simplemente el proceso mediante el cual tomamos del mundo exterior una serie de sustancias que, contenidas en los alimentos que componen la dieta, son necesarias para la nutrición.

Dentro de los alimentos que ingerimos habitualmente, existe una gran cantidad de sustancias químicas diferentes; sin embargo, sólo un número limitado de las mismas es útil para la nutrición: son los denominados *nutrientes*, descritos como aquellas sustancias químicamente definidas que existen en los alimentos naturales y que desempeñan un determinado papel en la nutrición.

Al depender la salud del hombre de su estado nutritivo, el estudio de la nutrición adquiere gran importancia desde el punto de vista de la Medicina clínica, la terapéutica y la Medicina preventiva. Pero su interés no se halla confinado únicamente a estos campos, ya que, al depender la nutrición de un correcto suministro de alimentos, su estudio influye también en campos como la agricultura, la ganadería o aquella parte de la industria, cada vez más abundante, destinada a la preparación, conservación y transformación de alimentos.

Por su parte, el estudio de la nutrición abarca varias ciencias, ya que, por un lado, no hay duda de la implicación que la Fisiología, como ciencia que estudia las funciones de los seres vivos, tiene en el mismo; pero, además, la Bioquímica permite conocer las transformaciones que habrán de sufrir los nutrientes, y la Química pura proporciona la mayor parte de la información sobre los mismos. A esta complejidad de ramas que intervienen en su estudio se debe, quizás, el hecho de que la nutrición no haya sido tratada desde un punto de vista estrictamente científico hasta una época relativamente reciente.

En los últimos años, sin embargo, el estudio de la nutrición ha adquirido un auge extraordinario. Son muchos los investigadores que vuelcan sus esfuerzos en este tema, y más el número de personas que intentan seguir un tipo de dieta acorde con sus necesidades, porque cada vez está más claro que no basta "comer para vivir", sino que hay que comer de una forma adecuada para poder vivir más y en un mejor estado de salud.

La alimentación representa el proceso por el que el organismo ingiere sustancias del medio exterior que necesita para su subsistencia, substancias que se obtienen a través de las actividades agrícolas, pesqueras, ganaderas, e incluso industriales. El proceso de nutrición, sin embargo, está constituido por las transformaciones metabólicas que experimentan los alimentos en el seno del propio organismo, a través de las cuales se obtiene la energía y se originan las sustancias necesarias para la renovación celular.



The Image Bank

Necesidades energéticas del organismo Los seres vivos precisan de un aporte continuo de energía destinado a tres fines: sufragar el costo energético de la síntesis, a partir de elementos más sencillos, de macromoléculas de interés biológico; mantener la distribución y transporte de sustancias a través de la membrana celular, y realizar trabajos mecánicos tales como los que se desarrollan durante la actividad muscular. En el caso del organismo humano, estas necesidades, cubiertas por los principios inmediatos contenidos en los alimentos, están dadas por la suma de tres componentes: el metabolismo basal, el costo de la actividad física realizada y el llamado efecto dinámico-específico o efecto térmico de los alimentos.

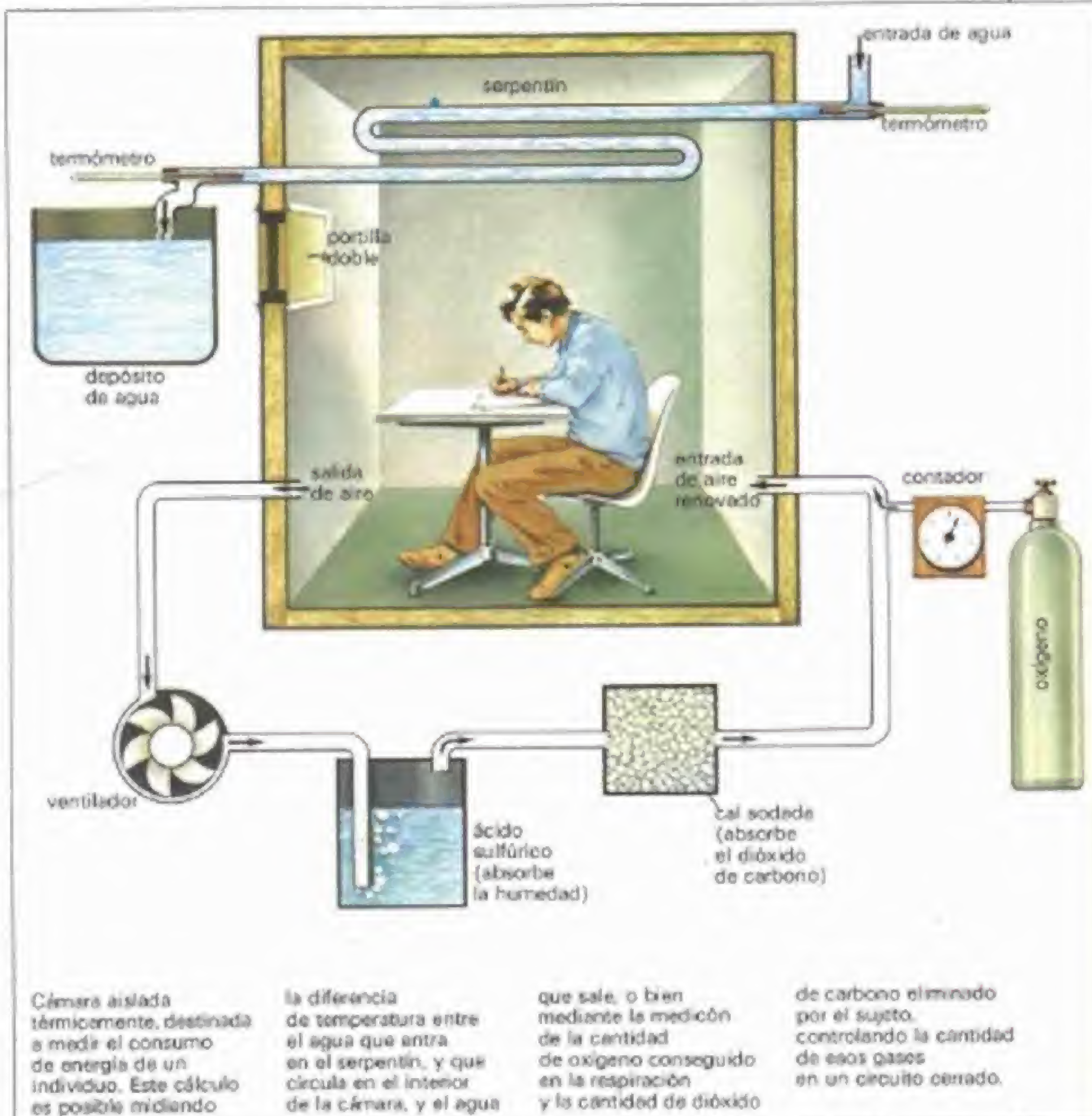
El *metabolismo basal* se puede definir como el recambio de energía de un individuo en reposo físico y mental, que se encuentra en un ambiente de temperatura agradable entre doce y dieciséis horas después de haber ingerido alimento. Se supone que este recambio de energía es el mínimo necesario para el mantenimiento de las funciones vitales indispensables, por lo que también es conocido como *metabolismo de mantenimiento*.

Del consumo energético total, el debido al metabolismo basal, que en condiciones habituales constituye la fracción mayor, posee una magnitud que no puede ser modificada, ya que depende del tamaño y de la composición corporal del individuo, estando únicamente influida por la edad y el sexo, si bien estudios muy recientes parecen demostrar que la influencia de estos dos últimos factores se debe principalmente a las diferencias de composición corporal entre los dos sexos y a los cambios que dicha composición experimenta a lo largo del tiempo.

En un hombre joven, la cantidad de energía correspondiente al metabolismo basal viene a ser aproximadamente de una kilocaloría por kilo de peso y hora, por lo que, si este joven pesase unos 70 kilogramos, su metabolismo basal supondría un recambio energético de $70 \times 24 = 1.680$ kilocalorías por día, cantidad no muy elevada si pensamos que es aproximadamente igual al de una bombilla eléctrica de 80 watios de potencia.

El costo de la actividad física representa una fracción variable del recambio energético total, que depende de la intensidad del trabajo físico realizado. Cualquier actividad de este tipo da lugar a un consumo energético que, en la mayoría de los casos, está muy por encima del metabolismo basal; así, un atleta corriendo a velocidad máxima puede precisar un recambio energético dieciséis veces superior al medido en condiciones basales estándar.

Dentro de ciertos límites, el recambio energético de un sujeto aumenta linealmente con la intensidad del trabajo que desarrolla, lo que permite establecer una clasificación de los distintos tipos de trabajo en función de la necesidad energética de los mismos.



Cámara aislada térmicamente, destinada a medir el consumo de energía de un individuo. Este cálculo es posible midiendo la diferencia de temperatura entre el agua que entra en el serpentín, y que circula en el interior de la cámara, y el agua que sale, o bien mediante la medición de la cantidad de oxígeno conseguido en la respiración y la cantidad de dióxido de carbono eliminado por el sujeto, controlando la cantidad de esos gases en un circuito cerrado.

El *efecto dinámico-específico* es la elevación en el recambio energético que se observa en un individuo después de la ingestión de alimento, y supone aproximadamente un 10 o un 12% del valor energético de la dieta ingerida.

El recambio energético total de un individuo se calcula entonces basándose en una medida aproximada del tiempo empleado en cada una de sus actividades y sumando las diferentes fracciones hasta obtener una cifra que representa el gasto total a lo largo de veinticuatro horas. Una dieta que proporcione un valor energético mayor del necesario dará lugar a un aumento en el peso corporal, mientras que, a la inversa, una dieta de valor calórico inferior conduce con el tiempo a una pérdida de peso, ya que el organismo en ese caso obtiene la energía que precisa "quemando" sus propias reservas, fundamentalmente las que se encuentran depositadas en forma de grasas.

Necesidades proteicas del organismo El organismo humano, además de un aporte energético, necesita un suministro dietético de proteínas, las cuales son un componente fundamental de la materia viviente. La cantidad diaria de proteínas que necesita el ser humano para mantener su estado de salud ha sido un tema muy debatido durante años. Carl von Voit propuso en 1881 la cantidad de 145 gramos diarios de proteínas como cifra adecuada. La idea de este consumo tan elevado de proteínas ha sido criticada duramente por algunos autores, que opinan que la eliminación urinaria de los productos nitrogenados procedentes del metabolismo proteico podría resultar perjudicial para el riñón. Esta hipótesis no ha podido ser probada, ya que los datos obtenidos en individuos que a lo largo de su vida han consumido cantidades de proteínas de hasta 250 gramos diarios no confirman tal suposición. Sin embargo, la tendencia actual es recomendar un consumo proteico mucho más bajo del propuesto por Voit. Los datos más recientes muestran que es posible mantener una nutrición proteica adecuada ingiriendo en la dieta 0,55 gramos de proteínas por kilogramo de peso corporal y día, lo que supone que un hombre de 70 kilogramos de peso habría de tomar diariamente 38,5 gramos de proteínas.

Dadas las diferencias en cuanto al contenido de aminoácidos que presentan las diferentes proteínas, para conseguir una dieta adecuada, además de una cantidad

determinada de estas sustancias, ha de tenerse también en cuenta la naturaleza de las mismas. Así, se piensa en la actualidad que las proteínas totales incluidas en la dieta del adulto deben contener alrededor de un 20% de su nitrógeno total en forma de aminoácidos esenciales, y el 80% restante en forma de aminoácidos no indispensables.

En general, pocos alimentos poseen proteínas que contengan todos los aminoácidos indispensables en proporciones adecuadas. Así, por ejemplo, los alimentos de origen vegetal son pobres en ciertos aminoácidos esenciales, contenidos, sin embargo, en las proteínas de origen animal, por lo que siempre será conveniente que estén presentes en la dieta ciertas proteínas de este origen.

Necesidades de hidratos de carbono y grasas La importancia dietética de los hidratos de carbono y de las grasas reside en el papel que desempeñan estos compuestos como fuentes de energía. Las dietas de países subdesarrollados contienen fundamentalmente hidratos de carbono como aporte energético, mientras que en los países industrializados abundan más las dietas ricas en grasas.

El papel de los hidratos de carbono es fundamental en el metabolismo de los centros nerviosos, ya que, en condiciones normales, el cerebro, que es responsable de un 20% del consumo de energía correspondiente al metabolismo basal, utiliza únicamente como fuente energética la glucosa, que es un hidrato de carbono. Se ha comprobado también que dietas excesivamente ricas en grasas y pobres en hidratos de carbono conducen a una acumulación de cuerpos cetónicos en los tejidos que recibe el nombre de *cetosis*. Además, la presencia en la dieta de una cantidad adecuada de hidratos de carbono reduce las necesidades de proteínas del organismo, según un efecto llamado *economizador de proteínas*. Por todas estas circunstancias, parece evidente la necesidad de hidratos de carbono en la dieta humana en una cantidad que no debe bajar de los 100 a 200 gramos por día.

Las grasas, por otra parte, poseen un contenido energético superior al de los hidratos de carbono, por lo que deben formar parte de la dieta sin que alcancen una cantidad excesiva que favorezca el desarrollo de ciertas enfermedades. Nuestro organismo es incapaz de sintetizar ciertos ácidos grasos que, por este motivo, se denominan *esenciales* o *indispensables* y que deben adquirirse en la dieta, ya que su ausencia conduce a la aparición de ciertos procesos patológicos. Las necesidades humanas de ácidos grasos esenciales (principalmente ácidos linoleicos) no son exactamente conocidas. Se admite actualmente que dichas necesidades son del orden de un 2% del valor calórico total de la dieta, lo que equivale a unos 6 gramos de ácido linoleico para una dieta de 2.700 kilocalorías/día.

Necesidades de vitaminas y minerales Las necesidades de vitaminas de nuestro organismo oscilan entre unos cuantos miligramos y una fracción de miligramo. Esta necesidad ha de satisfacerse con una dieta adecuada, ya que el cuerpo humano no es capaz por sí solo de sintetizarlas a partir de otras unidades más simples.

El consumo de una dieta desprovista de la cantidad necesaria de vitaminas conduce a la aparición de una serie de alteraciones orgánicas que se conocen con el nombre de enfermedades carenciales, o más específicamente, *avitaminosis*. Las manifestaciones clínicas de una avitaminosis tardan algún tiempo en presentarse, no haciéndolo en ocasiones hasta que la deficiencia es muy marcada. Existen también carencias vitamínicas subclínicas que se denominan *hipovitaminosis* y que constituyen hoy día un grave problema sanitario.

La función que desempeñan las vitaminas en nuestro organismo reside fundamentalmente en su actuación como coenzimas en diferentes procesos metabólicos.

Por otra parte, los minerales son necesarios para el buen funcionamiento del organismo: sirven como materiales de construcción, forman parte de los líquidos orgánicos y son reguladores del metabolismo.

En primer lugar debe citarse al *calcio*, constituyente fundamental del hueso y del diente, así como importante elemento regulador de la excitabilidad de determinados tejidos y de la coagulación de la sangre. Las necesidades de este compuesto se han calculado entre 400 y 700 mg diarios, siendo superiores en la mujer embarazada.

El *fósforo* forma parte también de la composición del hueso y del diente e interviene en la formación de compuestos fosforados de importancia vital en las transformaciones metabólicas (como, por ejemplo, el ATP). Se trata de un mineral que abunda en los alimentos, por lo que rara vez se observan carencias del mismo.

El *hierro*, cuyas necesidades dietéticas son de 10 mg diarios, es un elemento inorgánico que forma parte de la hemoglobina (un pigmento sanguíneo capaz de transportar oxígeno) y de otros enzimas.

El *magnesio* es un elemento presente en el hueso y otros tejidos que abunda en alimentos de origen vegetal, por lo que son raras sus carencias.

El *sodio* y el *potasio* son los principales componentes inorgánicos de los líquidos corporales. Las necesidades dietéticas son de unos 245 miligramos de potasio y 105 miligramos de sodio. Ambos elementos son abundantes en los alimentos y el sodio está presente en la sal común.

Otros elementos minerales necesarios para un buen funcionamiento del organismo y que deben formar parte de una dieta equilibrada son: el yodo, el zinc, el flúor, el cobre y el manganeso.

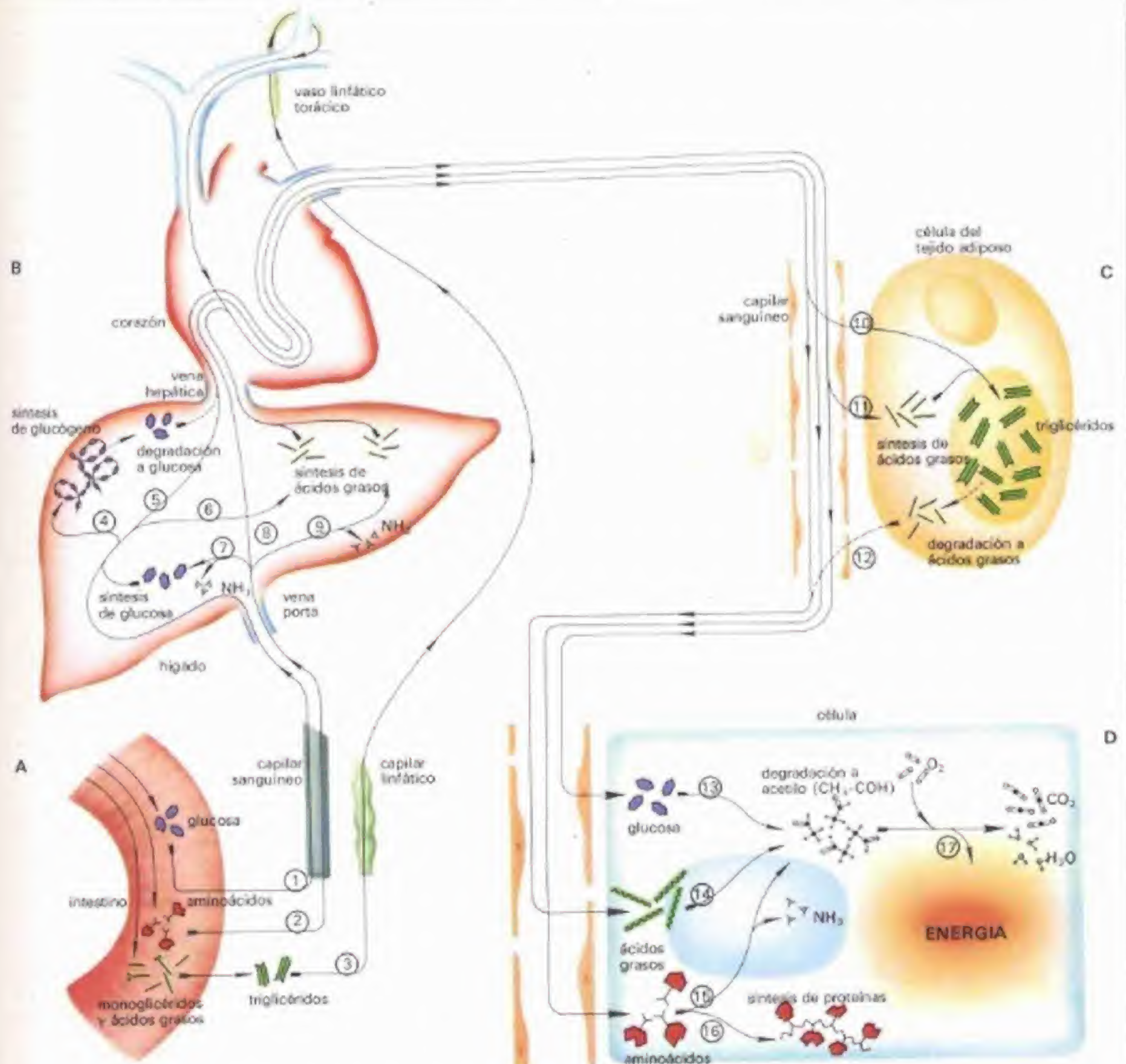
Representación parcial del sistema periódico de los elementos químicos en el que se destacan aquéllos que son imprescindibles para la nutrición del ser humano. Cada cifra indica el número atómico del elemento.

El asterisco señala aquéllos cuya necesidad no está totalmente comprobada.

Clave

H	hidrógeno
C	carbono
N	nitrógeno
O	oxígeno
F	flúor
Na	sodio
Mg	magnesio
Si	silicio
P	fósforo
S	azufre
Cl	cloro
K	potasio
Ca	calcio
V	vanadio
Cr	cromo
Mn	manganeso
Fe	hierro
Co	cobalto
Ni	níquel
Cu	cobre
Zn	zinc
Se	selenio
Mo	molibdeno
Sn	estaño
I	yodo

Véase **Alimentación, carencias; Alimentos; Grasas; Hidratos de carbono; Proteínas; Vitaminas**



A. Los productos de la digestión de los hidratos de carbono (glucosa), de las grasas (ácidos grasos y monoglicéridos) y de las proteínas (aminoácidos) son absorbidos por la pared del intestino. La glucosa [1] y los aminoácidos [2] pasan a los capilares sanguíneos. Los ácidos grasos y los monoglicéridos se vuelven a unir en las células intestinales formando triglicéridos, los cuales pasan [3] a los capilares linfáticos, vertiéndose finalmente en el torrente sanguíneo a través del conducto linfático torácico. (Algunos ácidos grasos de cadena corta pasan a los capilares sanguíneos, pero no hemos incluido esta vía para no menguar la claridad del dibujo.)

B. La glucosa y los aminoácidos, recogidos en el intestino por los vasos sanguíneos, llegan al hígado por la vena porta. La glucosa puede seguir tres caminos. Si el organismo la necesita, la glucosa pasa otra vez [5] al torrente sanguíneo a través de la vena hepática. Si su concentración en la sangre es suficiente, puede almacenarse [4] en forma de glucógeno. La cantidad de glucógeno que puede almacenar el cuerpo es pequeña, y, cuando esta cantidad se ha alcanzado, la glucosa sobrante se descompone en moléculas pequeñas, las cuales se usan [6] en la síntesis de ácidos grasos. También los aminoácidos pueden seguir tres vías distintas en el hígado. Pueden volver [8] al torrente sanguíneo, si se necesitan en el organismo. Si la necesidad de aminoácidos está cubierta, pueden perder su nitrógeno (en la forma NH_3), transformándose [7] en glucosa o bien [9] en ácidos grasos.

C. Cuando las necesidades de ácidos grasos del organismo están cubiertas, éstos pasan [10] a las células del tejido adiposo almacenándose como triglicéridos. Las células adiposas pueden también transformar [11] la glucosa en ácidos grasos cuando aquélla está en exceso en el organismo. Cuando el organismo necesita energía, los triglicéridos se descomponen en ácidos grasos, que pasan [12] a la sangre.

D. Las células necesitan energía y proteínas. Obtienen éstas a partir de [16] los aminoácidos. Y normalmente obtienen la energía de dos fuentes: de la descomposición [14] de ácidos grasos y de la descomposición [13] de glucosa. Algunas células (sobre todo las del hígado) pueden también descomponer [15] aminoácidos tras haberles extraído su nitrógeno (en forma de NH_3). Al descomponerse, tanto la glucosa como los ácidos grasos y los aminoácidos se convierten en moléculas pequeñas, como el ácido acético. Estas se combinan con el oxígeno en la respiración celular [17]; se obtiene dióxido de carbono y agua y se desprende energía.

Los seres humanos necesitan para su subsistencia la ingestión de alimentos. Desde la carne y el pescado hasta las frutas y verduras o los derivados de la leche, la gama de alimentos ingeridos por el hombre es variada y amplia. Por otro lado, los tipos de alimentos constitutivos de la dieta están fuertemente influidos por las costumbres, gustos, condiciones económicas y hasta por las creencias religiosas. Así, podemos contemplar cómo es habitual en ciertas tribus africanas el beber periódicamente sangre de animales mezclada con leche de cabra, mientras que en religiones asiáticas en donde existe gran influencia de sectas vegetarianas la dieta se basa en platos de arroz con especias, berenjenas, espinacas y otros productos de origen vegetal. A pesar de esto, una característica común es que todos los seres humanos hacen lo posible por obtener del medio en que viven un conjunto equilibrado de productos animales y vegetales que les permita sobrevivir. Podemos considerar como *alimentos* aquellas sustancias que proporcionan al organismo tanto la energía necesaria para el funcionamiento de los diversos órganos como los materiales esenciales para la formación de los tejidos.

Los alimentos como combustibles y materiales de construcción Por muy diferentes que nos parezcan los alimentos, todos ellos tienen una característica en común: nos proporcionan, por un lado, la energía necesaria para desarrollar todas nuestras funciones orgánicas (alimentos como *combustibles*), y, por otro, nos aportan los nutrientes (proteínas, hidratos de carbono, grasas, etc.), es decir, las sustancias precisas para la síntesis de nuestros propios componentes orgánicos y para la regulación del metabolismo (alimentos como *materiales de construcción*).

En efecto, el organismo precisa de un aporte continuo de energía para un correcto funcionamiento de todas sus estructuras, energía que se obtiene mediante la oxidación de ciertas sustancias orgánicas contenidas en los alimentos. Ya a finales del siglo XVIII el químico francés Antoine Lavoisier dedujo de sus observaciones que "la vida era una función química", comparando el proceso respiratorio de los animales superiores con una forma de combustión similar a la que tiene lugar en el mundo inanimado. Para comprobar su hipótesis, Lavoisier midió el consumo de oxígeno durante la respiración del hombre y de algunos animales superiores y, con la ayuda del también francés Pierre Simon Laplace, construyó un calorímetro capaz de medir, determinando la cantidad de hielo fundido, el calor emitido por un animal.

Los trabajos de Lavoisier fueron continuados por varios fisiólogos alemanes de la escuela de Munich —Pettenkofer, Voit, Rubner, etc.— y sus discípulos de otras escuelas situadas en Estados Unidos y otros países, quienes a finales del siglo pasado establecieron de una forma definitiva que los alimentos son combustibles cuya oxidación en el seno de los tejidos libera la energía necesaria para el mantenimiento de los procesos vitales, energía que puede ser medida en forma de calor. Como en cualquier otra combustión, para que se produzca la oxidación de las sustancias contenidas en los alimentos se precisa una cierta cantidad de oxígeno y se libera dióxido de carbono, gases cuyo intercambio tiene lugar en el proceso respiratorio.

En 1894, el fisiólogo alemán Max Rubner demostraba, por último, que la cantidad de calor producida por un animal correspondía exactamente a la calculada a partir del oxígeno consumido —o del dióxido de carbono liberado— y a la calculada a partir de las cantidades de compuestos orgánicos oxidados, con lo que ponía de manifiesto que los seres vivos, como el resto de los cuerpos existentes en el Universo, cumplen una ley física tan básica como la de la conservación de la energía. Por este motivo, el intercambio de energía en un ser se puede medir por tres caminos distintos: por la determinación del recambio gaseoso —consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono— realizado en el mismo, o bien mediante el cálculo de la cantidad de sustancias oxidadas, o, por último, midiendo la cantidad de calor producida en el proceso.

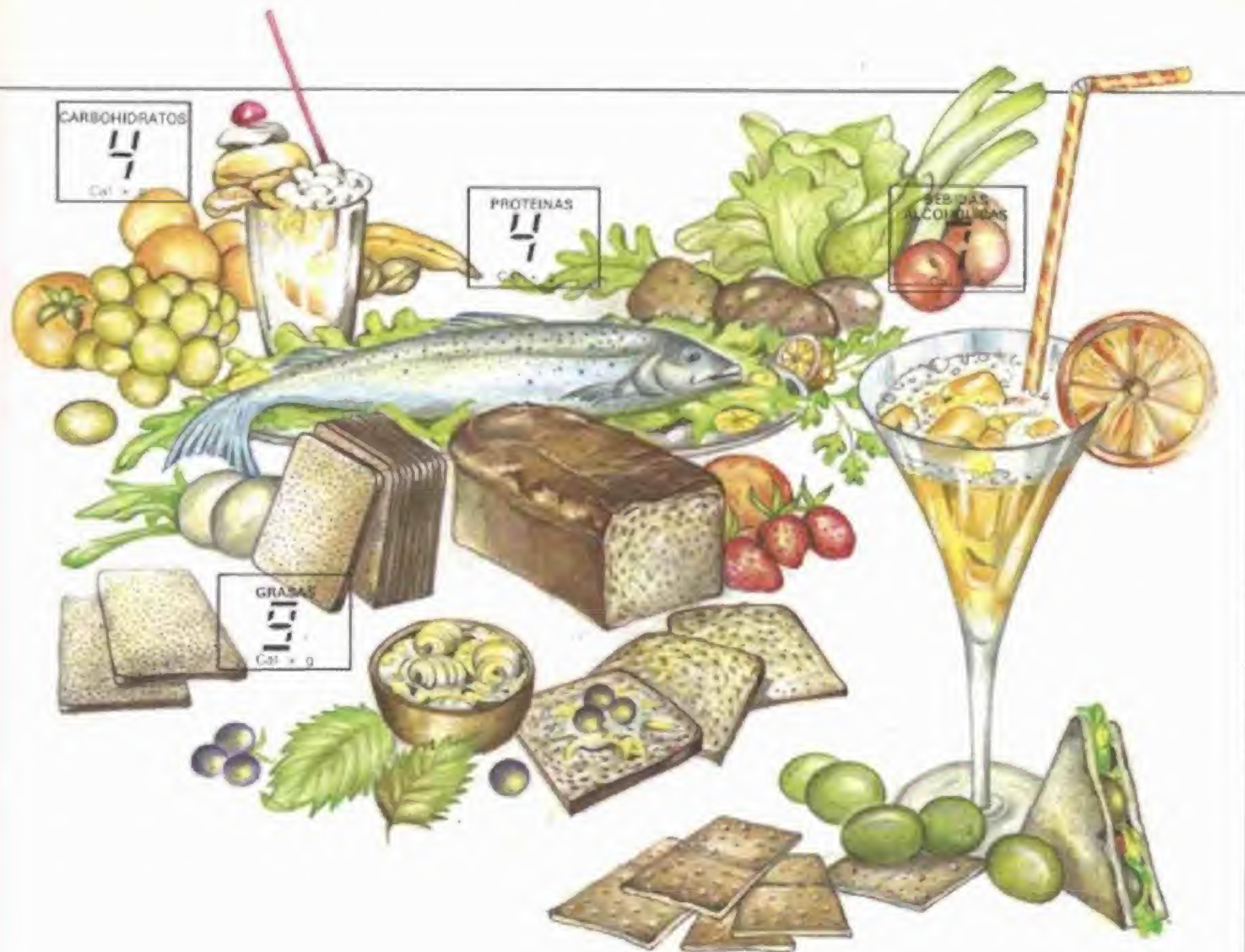
Sin embargo, los alimentos no sólo nos proporcionan la energía necesaria para las funciones de nuestro organismo. Las sustancias orgánicas contenidas en los alimentos difieren bastante en su composición química y en su valor energético; no obstante, de un modo general, se pueden agrupar en tres grandes conjuntos que reciben el nombre de *principios inmediatos*: hidratos de carbono, grasas y proteínas. Los dos primeros están formados por sustancias compuestas sólo por carbono, oxígeno e hidró-



Archivo Salvat

La necesidad de alimentos se considera desde un doble punto de vista: alimentos como portadores de energía y como materiales de construcción. Los alimentos de origen animal (carnes, pescados, etc.), además de suministrar gran cantidad de energía, son imprescindibles como portadores de proteínas de alto valor biológico, provistas de los aminoácidos esenciales; estas proteínas son precisamente los nutrientes que el organismo necesita como materiales de construcción para sus propias células y para la regulación de su metabolismo.

El gráfico de la página siguiente ilustra el poder energético de los principales grupos de nutrientes. El poder energético representa el número de calorías que produce un gramo de alimento durante su combustión orgánica.



geno, mientras que las proteínas, además de esos elementos, poseen también nitrógeno y azufre. Esta diferencia de composición da lugar a que en la oxidación de los dos primeros se produzca únicamente el dióxido de carbono que se desprende en la respiración, mientras que en las proteínas, además de este gas, se producen compuestos nitrogenados —fundamentalmente urea, en el caso del hombre— que serán eliminados por la orina.

Las diferencias existentes entre esos tres principios inmediatos no sólo residen en su composición química o en los residuos que producen en su combustión, sino también en la importancia relativa de cada uno de ellos. En efecto: en 1816, el fisiólogo francés François Magendie demostró, en experimentos realizados con perros, que los seres vivos superiores no podían vivir si no existía una cierta cantidad de proteínas en la dieta ingerida, y que incluso no todas las proteínas eran iguales en cuanto a su valor nutritivo, pues en estos mismos experimentos Magendie pudo comprobar que no era posible mantener vivos a los perros suministrándoles gelatina como única proteína alimenticia.

La peculiar característica de las proteínas fue estudiada por el gran químico alemán Justus von Liebig, quien pudo demostrar que, mientras los hidratos de carbono y las grasas son elementos fundamentalmente combustibles, esto es, destinados principalmente a proporcionar al organismo la energía que necesita, las proteínas proporcionan también a éste las sustancias que precisa para construir y reparar sus propias estructuras; razón por la cual estableció dos categorías dentro de los principios inmediatos: los que él llamó *alimentos respiratorios* —hidratos de carbono y grasas— y los *alimentos plásticos* —las proteínas—. De esta forma aparecía un segundo concepto básico en las necesidades nutritivas: los alimentos no sólo han de ser fuentes de materiales combustibles que proporcionan energía, sino también vectores de materiales de construcción.

Más tarde se demostraría que las proteínas no son las únicas *sustancias plásticas*, existiendo otras, como el calcio, que poseen también gran importancia en esta misión. Así, por ejemplo, el recién nacido humano no posee en su organismo más de 30 gramos de calcio, pero cuando completa su crecimiento ha almacenado en sus huesos cerca de kilo y medio de este elemento, procedente de los alimentos ingeridos.

Contenido en nutrientes de los alimentos Después de haber analizado el papel que los alimentos desempeñan en el organismo como elementos que proporcionan tanto energía como materiales plásticos, cabe preguntarse ahora cuál es el contenido concreto que los alimentos que habitualmente ingerimos tienen de los diferentes nutrientes y cuál es la cantidad de energía que pueden proporcionarnos. Una sencilla clasificación de los alimentos, según su procedencia sea del reino vegetal o del reino animal, nos permite analizar el contenido energético y nutritivo de los distintos alimentos.

Los alimentos de origen vegetal suponen una parte importante de la dieta y en algunos casos, como el de los cereales, constituyen la base de la alimentación de muchos pueblos. Los cereales, en general, contienen una gran cantidad de hidratos de carbono y algunas vitaminas básicas; sin embargo, carecen de ciertos aminoácidos esenciales y de grasas.

Las hortalizas y las frutas suponen un aporte vitamínico básico para el organismo, sobre todo cuando se consumen en crudo; también este grupo posee abundante cantidad de proteínas, especialmente en el caso de los frutos secos, pero, excepto estos últimos, la cantidad de grasas que suministran en la dieta es muy limitada.

Todos los alimentos de origen vegetal poseen abundante cantidad de elementos minerales básicos, fundamentalmente calcio, fósforo y hierro, y algunos, como las hortalizas y las frutas, proporcionan al organismo gran parte del agua que necesita.

Dentro de los alimentos de origen animal se encuentran las carnes de diferentes orígenes —ganado, aves, caza—, los pescados, la leche y los huevos. El valor calórico de estos alimentos depende principalmente de su contenido en grasas. Excepto la leche, son pobres en hidratos de carbono. El contenido de proteínas es en general elevado, conteniendo prácticamente todos los aminoácidos esenciales, por lo que, en mayor o menor grado, deben entrar a formar parte de cualquier dieta equilibrada.

Alimentos necesarios en la dieta La dieta consumida por los adultos en buen estado de nutrición varía considerablemente con las costumbres alimenticias de los distintos países. Así, en los países menos desarrollados, los hidratos de carbono constituyen la principal fuente de energía, que en el caso de los países industriales es aportada por las grasas. De un modo general, puede considerarse como satisfactoria una dieta que contenga un 50% o un poco más de su energía total en forma de hidratos de carbono, un 35% en forma de grasas, y alrededor de un 10 a un 12% en forma de proteínas. La elevada proporción de proteínas, habitual en la dieta de los países más prósperos, es evidentemente innecesaria; sin embargo, tampoco se puede decir que sea perjudicial, ya que el organismo humano posee una gran capacidad de adaptación en cuanto al consumo de estos principios inmediatos, pudiendo mantener un buen estado de salud con dietas que suministren entre 50 y 150 gramos de proteínas por día.

Debido a las diferencias existentes en las proteínas en cuanto a los aminoácidos que contienen, para que una dieta sea completa es preciso que incluya proteínas de distintos orígenes; pero, por otro lado, aunque existan proteínas como las de la carne, aves, pescado o leche que contienen prácticamente todos los aminoácidos esenciales, no es imprescindible la existencia de estos alimentos en una dieta completa, ya que con una combinación adecuada de otros diferentes se pueden adquirir los mismos aminoácidos. En cualquier caso, siempre es conveniente para cualquier dieta la inclusión de alimentos animales, no sólo por los aminoácidos que aportan, sino por la existencia en los mismos de otros nu-

Principales alimentos constituyentes de una dieta mixta. Según su procedencia, estos alimentos se clasifican en alimentos de origen animal y de origen vegetal. En el primer grupo se encuentran las verduras, las hortalizas y el importante grupo de los cereales, de elevado poder energético. Al segundo grupo corresponden las carnes y pescados, así como la leche y sus derivados y los huevos.











Fotos: Archivo Salvat









trientes básicos como la vitamina B_{12} e incluso, aunque en principio pueda parecer trivial, porque ayudan a conseguir una dieta más atractiva y por tanto más fácilmente seguible.

Los hidratos de carbono presentes en las dietas consumidas por el hombre se encuentran en su mayor parte en forma de almidón en los cereales, patatas, etc., y, en menor grado, en forma de azúcares simples, que poseen las frutas y el azúcar de caña o de remolacha. Sin embargo, del mismo modo que la proporción de hidratos de carbono incluidos en la dieta va disminuyendo paulatinamente al elevarse el nivel económico, también lo hace la proporción de almidón existente en los alimentos utilizados.

En cualquier caso, es indudable que resulta ventajoso consumir los hidratos de carbono procedentes de productos naturales, como cereales, patatas o frutas, ya que éstos, además, proporcionan otros nutrientes de gran importancia.

Al contrario de lo que sucede con el almidón, el consumo de azúcar ha aumentado bastante en los últimos años, lo que ha dado lugar a especulaciones sobre los posibles efectos que este aumento podría tener. En realidad, el azúcar es un producto puro que sólo aporta energía, y su consumo abusivo podría desplazar en la dieta a otros productos básicos; sin embargo, aparte de la caries dental, el consumo de azúcar en la proporción habitual en los países desarrollados no parece tener ningún otro efecto perjudicial.

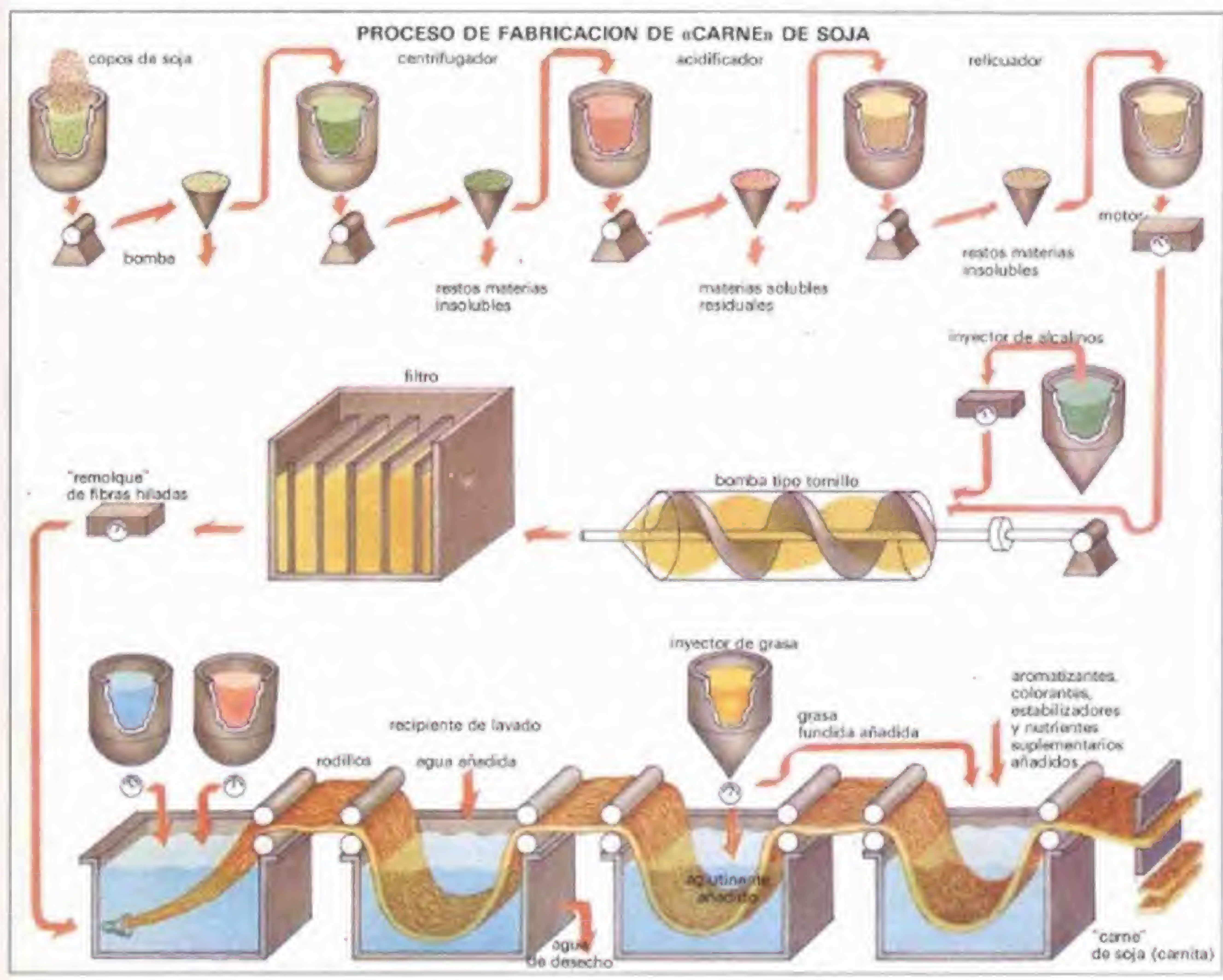
Una cierta proporción de grasas en la dieta es necesaria, no sólo por el aporte energético que la misma proporciona, sino por su aporte en ácidos grasos esenciales, si bien un consumo excesivo puede favorecer el desarrollo de ciertas enfermedades.

Por último, la dieta no debe estar exenta de hortalizas, verduras y frutas capaces de suministrar al organismo los elementos minerales y las vitaminas que necesita.

En cualquier caso, la dieta ha de procurar ser variada en cuanto a los alimentos que la componen, no sólo porque esta variación proporcionará todos los nutrientes necesarios, sino porque con ella se hará más agradable, evitando la idea errónea de que comer sano significa comer monótono o comer únicamente alimentos que no son demasiado agradables al paladar.

La dieta del futuro Podemos afirmar, con la información que actualmente poseemos, que los cereales seguirán siendo la base de nuestra alimentación en el futuro. Probablemente disminuirá el consumo de carne y se incrementará el de cereales y leguminosas. Es posible que se incorporen proteínas obtenidas de seres unicelulares, como bacterias, levaduras y algas, que también podrían destinarse a la fabricación de pienso para animales. Por otro lado, se están desarrollando en la actualidad métodos industriales para la producción de fibras vegetales con sabor a carne o pescado. De hecho, la fibra obtenida de la soja se está añadiendo desde hace tiempo a alimentos, como pasteles de carne, *pizzas*, hamburguesas, etc. Probablemente, el progreso de los conocimientos sobre nutrición y el desarrollo de la tecnología de los alimentos harán posible preparar comidas más en consonancia con nuestras necesidades nutritivas que las que consumimos en la actualidad.

Véase **Alimentación, carencias; Alimentación y nutrición; Hidratos de carbono; Grasas; Proteínas**



Alimentos, aditivos y conservantes

Los aditivos pueden definirse como sustancias sin valor nutritivo que se añaden a los alimentos para: facilitar su preparación; mantener o mejorar sus características físicas, químicas o biológicas; evitar o retardar la alteración; o mejorar sus cualidades organolépticas, como sabor, aspecto y consistencia. Los aditivos pueden clasificarse en cuatro tipos fundamentales:

a) *Sustancias que modifican los caracteres organolépticos*: son aquéllas que eliminan, proporcionan o avivan el color, olor y sabor de los alimentos.

Los "colorantes" se añaden con el fin de reforzar el color, muchas veces reducido por los procesos de transformación, y pueden ser compuestos orgánicos naturales, o artificiales o inorgánicos; se suelen usar los artificiales por su menor coste, mayor poder y mejor estabilidad.

Los "agentes aromáticos" se añaden a los alimentos para devolverles su sabor y olor originales, disminuidos por los procesos de conservación, o para corregir el sabor de ciertas materias primas en mal estado. Estos también pueden ser naturales, obtenidos de productos naturales por sistemas físicos (extracto de vainilla, aceite esencial de naranja, zumo de fresa concentrado, etc.), o artificiales, que imitan el aroma de los primeros y pueden ser moléculas iguales a las naturales (citrol, mentol, eucaliptol, etc.) o no haber sido identificadas en la Naturaleza (acetato de amilo, diacetilo, etc.). Los aromas naturales pueden tener muchos componentes, mientras que los artificiales, de hecho, tienen uno o unos pocos, por tanto no pueden reproducir la sutileza de los aromas naturales.

Existen también los llamados "reforzadores del sabor", que no tienen sabor propio pero refuerzan el del producto al que se añaden; el principal es el glutamato sódico, antiguo sazonante de la cocina japonesa que hoy se usa sobre todo en la fabricación de "cubitos de caldo concentrado".

b) *Estabilizadores de los caracteres físicos*: son aquellos aditivos que se añaden a los alimentos y bebidas con el fin de proporcionarles el aspecto y consistencia adecuados, o para evitar modificaciones de sus caracteres físicos. Son los estabilizantes, espesantes, gelificantes, etc. Muchas veces se emplean de modo impropio, como por ejemplo para conseguir que el producto absorba una mayor cantidad de agua o para enmascarar el uso de materias primas de mala calidad.

c) *Sustancias que impiden las alteraciones químicas y biológicas*: son los antioxidantes y los conservantes.

Los "antioxidantes" se añaden para evitar el enranciamiento natural, provocado por el aire, y la oxidación catalítica. Sólo está autorizada su adición en las industrias elaboradoras de alimentos.

Los "conservantes" son sustancias capaces de inhibir, retardar o detener procesos de fermentación, enmohecimiento, putrefacción y otras alteraciones biológicas de los alimentos y bebidas. Los conservantes naturales más conocidos son el vinagre, los ácidos málico, cítrico, tartárico y láctico, el alcohol etílico, el azúcar y la sal.

d) *Correctores de calidades plásticas*: son aquellos aditivos que se añaden a los procesos tecnológicos alimentarios para modificar cualidades plásticas, para extraer, purificar o desnaturalizar los productos alimenticios. Son los disolventes naturales, clarificadores, etc. Pueden permanecer en el producto final o haber sido retirados de éste.

La legislación española obliga a especificar, en la etiqueta del envase, si el alimento contiene aditivos y, en el caso de conservantes, la proporción en que han sido añadidos.

La elección de los aditivos a utilizar está restringida a una gama de sustancias permitidas, recogidas en las llamadas "Listas positivas", elaboradas tras la realización de pruebas toxicológicas y revisadas periódicamente por comisiones de expertos.

La valoración toxicológica de un aditivo es un proceso largo y costoso que tiene varias etapas. Si al final de éstas el resultado es satisfactorio, el producto se considera idóneo para el consumo y se incluye en las listas positivas de los aditivos admitidos. El procedimiento que se sigue es medir en animales de laboratorio la dosis máxima que no les causa efectos nocivos. Esa dosis se extrapola al hombre, corregida con un factor de seguridad —por ejemplo, disminuida cien veces—, y se obtiene la "dosis diaria admisible" (DDA). Las DDA autorizadas varían para cada alimento, en función


The Image Bank

Hoffman La Roche

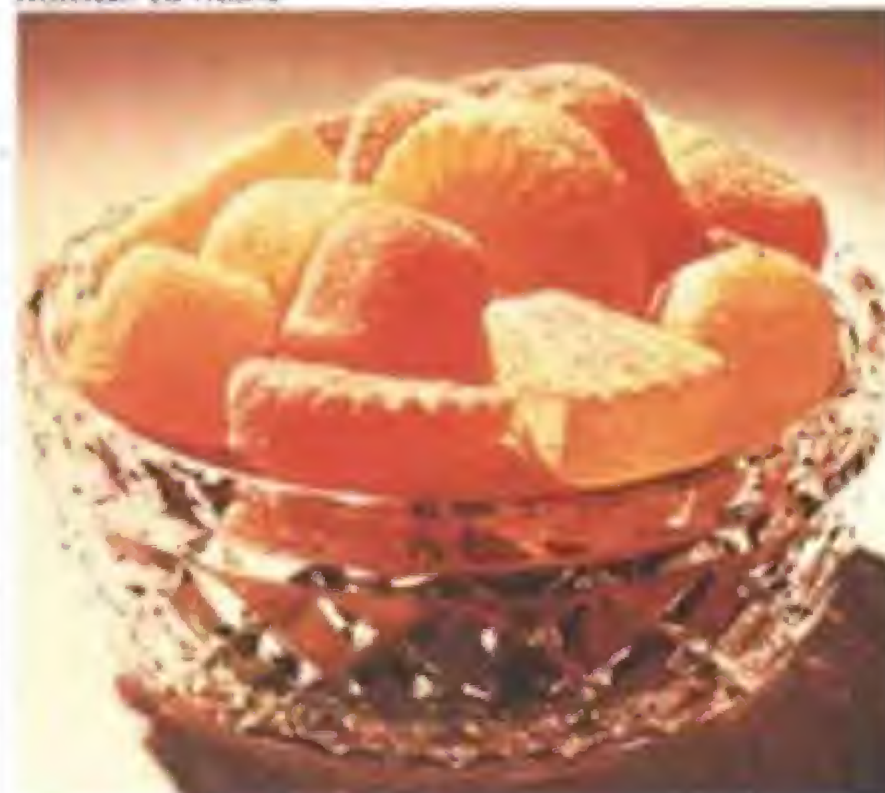



Photo Researchers


Photo Researchers


A. Rizzi

En las imágenes, de izquierda a derecha y de arriba abajo, mantecado helado, caramelos y adición de un colorante que contiene caroteno en la preparación de la margarina. Bajo estas líneas, preparación de "carne de soja", que se mezcla con colorantes, aromatizantes y estabilizadores. A la derecha, aplicación de la cromatografía de gases en el análisis de alimentos.

de la cantidad de éste que puede formar parte de una dieta diaria normal.

De todos modos, las cosas no son tan simples. En primer lugar, porque es necesaria una continua comprobación de los datos experimentales, que lleva periódicamente a una revisión de las listas positivas o de las dosis de empleo autorizadas; en segundo lugar, porque pueden existir casos en los que, a pesar de la toxicidad del producto, éste es autorizado según la relación riesgo/beneficio: se valoran cuáles serían las consecuencias, sobre todo en términos económicos, de la no autorización. Por ejemplo, el uso del anhídrido sulfuroso y de sus compuestos (sulfitos, etc.), que son compuestos tóxicos muy conocidos, se considera aceptable en enología, en dosis moderadas, para la producción de vino en zonas de clima cálido. Algo similar ocurre con la



utilización de nitratos y nitritos de sodio y potasio en la producción de carnes preparadas y conservadas (embutidos, carne en conserva, etcétera).

Como precaución, y a pesar de las pruebas toxicológicas, la legislación de algunos países, entre ellos España, prohíbe la utilización de aditivos, aunque estén incluidos en las listas positivas, si el efecto que se desea obtener con la utilización de un determinado aditivo puede conseguirse por medios físicos o de elaboración adecuados, si impide o retrasa la acción de los enzimas digestivos o si puede inducir a error o engaño al consumidor.

Véase **Alimentos, temperatura de conservación**

NO_3^- NITRATO
NO_2^- NITRITO

PUNTOS DEL CUERPO HUMANO DONDE LOS NITRATOS Y LOS NITRITOS PRODUCEN DISTINTOS TIPOS DE COMPUESTOS NOCIVOS

glándulas salivales

$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$ (?)
$NO_2^- \rightarrow NO$

músculo

aparato circulatorio

hígado

$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$

estómago

$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$

HNO_2

aminas
ácidos orgánicos
lípidos
SH
OH

riñón

vejiga

reducción bacteriana con pH ácido
$NO_3 \rightarrow NO_2$
aminas

vagina

útero

intestino

compuestos nitrogenados → NO_3

nitrosaminas con fibra grasa

NO_2^- con aminas → nitrosaminas

RELACION RIESGO/BENEFICIO: NITRATOS Y NITRITOS

El efecto colorante del nitrato de potasio (da color rosado a las carnes) está producido por la reducción del nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) por la acción de las bacterias presentes en aquéllas.

Los nitritos se pueden acumular en los alimentos ricos en nitratos por acción de los microorganismos o por mala conservación. Tienen la propiedad de combinarse en ambiente ácido con unos compuestos llamados *aminas* —que abundan en los alimentos y en el ambiente— para formar las *nitrosaminas*. Los nitritos son peligrosos: disminuyen la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

Éstos son los riesgos, pero ¿cuáles son las ventajas? El nitrito posee una actividad antibacteriana y, en particular, impide el desarrollo de la *Clostridium botulinum*, productora de una toxina letal. Los nitratos y nitritos tienen otros efectos: realzan el sabor de ciertos alimentos y estabilizan el color rojo de la carne. Pero también hemos de tener en cuenta que:

a) La *Clostridium botulinum* puede ser destruida por la esterilización, y su toxina, inactivada por la cocción.

b) En el caso de los fiambres crudos, estos aditivos, incluso en dosis pequeñas, son imprescindibles para la higiene del producto. Además, la acidez no es suficiente como para favorecer la formación de nitrosaminas, y los residuos se transforman en óxido de nitrógeno. En los embutidos cocidos (mortadela, jamón de york, etc.), estos aditivos no están justificados, ya que la cocción, la presencia de sales y otros productos y la necesidad de mantenerlos en frigorífico cumplen ya la función conservante. En las conservas de carne (carne enlatada, etc.), el uso de nitratos y nitritos es inútil, puesto que la buena conservación está asegurada por la esterilización térmica.

Alimentos, temperatura de conservación

Civilizaciones tan dispares como la griega y la inca ya conocían los principios de la conservación de algunos productos alimenticios: los griegos, mediante la práctica de la salazón; los incas, enterrando en la nieve y secando al sol las "papas" (chuño).

La técnica moderna de conservación de los alimentos ha recorrido un camino largo y difícil. Todos sabemos que los alimentos de origen animal o vegetal están sujetos a fenómenos de alteración que los invalidan para el consumo. Estos procesos se deben a la acción de microorganismos presentes en los alimentos animales antes del sacrificio y en los vegetales antes de la recogida, o por la acción de los enzimas. Los enzimas, continuando su acción química, provocan en los tejidos una disgregación de las estructuras celulares, que llegan a pudrirse. Estos fenómenos suelen estar condicionados por factores externos, como el oxígeno o el calor.

Sólo desde el siglo pasado, y cuando se comienza a estudiar y conocer las causas que producen la alteración de los alimentos, empezaron a usarse los métodos de conservación de una forma más "científica". Todos esos métodos tienden a destruir los microorganismos presentes o crear las condiciones en que estos no puedan desarrollarse.

Uno de los métodos más extendidos es el del *enfriamiento*, que admite tres niveles: refrigeración, congelación y ultracongelación.

La *refrigeración* consiste en mantener los alimentos en ambientes determinados (cámaras frigoríficas) en los que la temperatura es inferior a la ambiental; se controla el grado de humedad y se efectúa una aireación constante. Este método se usa frecuentemente para la conservación de frutas, hortalizas, carnes y pescados. Con la refrigeración, los procesos metabólicos no se bloquean, pero sí se reducen a un nivel muy bajo.

La *congelación* consiste en llevar y mantener los alimentos a una temperatura muy baja, comprendida entre −15 °C y −25 °C. La congelación puede efectuarse lentamente, de manera que el agua se congela en forma de grandes cristales que provocan la disgregación de los tejidos, o rápidamente, en cuyo caso no se rompe la estructura celular, ya que el agua se congela entonces en forma de pequeñísimos cristales.

La *ultracongelación* es la técnica que permite la congelación de alimentos de primera calidad a muy baja temperatura (−35 °C) y en un tiempo mínimo. Al ser la acción del frío tan rápida e intensa, provoca en el líquido de constitución de los alimentos la formación de cristales de tamaño tan reducido que no rompen ni desgarran el tejido celular y conservan sus características y sabor iniciales.

Véase **Alimentos; Alimentos, aditivos y conservantes**

Muchos son los factores que influyen en la degradación de los alimentos; entre ellos se encuentran el desarrollo bacteriano, la oxidación o la simple descomposición de algunas de las moléculas de su estructura. El frío no es el único método de conseguir una larga conservación, pero sí uno de los más eficaces. De hecho, no todos los alimentos se pueden enfriar mucho sin un tratamiento oportuno. Incluso, en ciertos casos, los alimentos no pueden ser enfriados por debajo de la temperatura ambiente. La tabla anexa recoge la temperatura y el tiempo de conservación aconsejados para las verduras.

CONSERVACION DE LA VERDURA

Alimento	Lugar	Tiempo
Alcachofas	frigorífico	4 días
Espárragos	frigorífico	2 días
Coles	frigorífico	4 semanas
Zanahorias	frigorífico	2 semanas
Coliflores	frigorífico	2 semanas
Apio	frigorífico	5 días
Cereales	frigorífico	2 días
Pepinos	frigorífico	2 semanas
Berenjenas	frigorífico	2 semanas
Lechugas	frigorífico	1 semana
Setas	frigorífico	4 días
Cebollas	temperatura ambiente	2 semanas
Pimiento	frigorífico	5 días
Patatas	frigorífico	5 días
Perejil	temperatura ambiente	2 semanas
Espinacas	frigorífico	3 días
Calabacines	temperatura ambiente	2 semanas
Batatas	temperatura ambiente	2 semanas
Tomates	frigorífico	1 semana



CONSERVACION DE LA FRUTA

		Tiempo
Manzanas	lugar fresco, seco	2 semanas
Aguacates	frigorífico	5 días
Plátanos	temperatura ambiente	1 semana
Melones	frigorífico	8 días
Pomelos	frigorífico	2 semanas
Uvas	frigorífico	5 días
Naranjas	frigorífico	2 semanas
Melocotones	frigorífico	1 semana
Peras	frigorífico	1 semana
Piñas	frigorífico	2 días
Fresas	frigorífico	2 días

CONSERVACION DE CARNE Y PESCADO

Días (en frigorífico)		Meses (en congelador)
3-5	Filetes (ternera)	8-12
3-5	Cordero y cerdo	3-4
1-2	Carne picada	2-3
3-5	Asado de ternera o cordero	8-12
3-5	Cerdo asado	4-8
1-2	Hígado y vísceras	3-4
7	Panceta	1
1-2	Salchichas de cerdo	1-2
3-5	Jamón	1-2
2-3	Pescado	12

CONSERVACION DE PRODUCTOS LACTEOS

	Embalaje	Temperatura de conservación	Tiempo de conservación
Mantequilla	papel	0-5 °C	6-8 semanas
Helados	plástico	−25 °C	12 meses
Leche fresca	cartón plastificado	−18 °C	8-10 meses
Queso	cartón plastificado	0-5 °C	3-5 días
Huevos	papel o plástico	0-5 °C	2-3 semanas
		0-5 °C	1-2 semanas



A esta temperatura el crecimiento de todo tipo de flora bacteriana es muy rápido

Temperatura de crecimiento de las bacterias mesófilas

Temperatura máxima de crecimiento de las bacterias psicrófilas

Temperatura mínima de crecimiento de las psicrófilas

A esta temperatura el crecimiento bacteriano está en parte inhibido. Se pueden conservar únicamente los alimentos no contaminados y protegidos por un embalaje adecuado, y por períodos de tiempo no muy largos

Por debajo de 0 °C la congelación inhibe completamente el crecimiento y muchas veces impide casi totalmente la descomposición molecular: conservación perfecta

En la tabla superior están indicadas las condiciones de conservación de la fruta, que se realiza normalmente en cámaras frigoríficas donde la temperatura varía entre 0 °C y 2 °C. Se trata de valores aptos para fruta fresca y no para la procedente de una conservación previa, normalmente efectuada por la combinación de frío y sustancias antioxidantes. Arriba, a la derecha, tabla de temperatura y tiempo de conservación de las carnes. Están indicados dos valores, según se guarde en el frigorífico (a una temperatura aproximada de 0 °C) o en el congelador (entre −20 °C y −30 °C). En el segundo caso, es necesario que los alimentos en ningún instante adquieran una temperatura superior a −20 °C. Debajo, tabla de conservación de productos lácteos y huevos, que no requieren valores tan bajos de temperatura y tienen una duración más larga, salvo en el caso del helado, que fácilmente desarrolla colonias de bacterias muy nocivas. A la izquierda está explicada la distribución de alimentos en un frigorífico según las exigencias de temperatura de conservación. A la izquierda de estas líneas, la influencia de la temperatura, desde bajo cero hasta 50 °C, sobre los microorganismos.

Alta fidelidad

Cuando Edison inventó un sistema para grabar la voz, su aparato pareció sorprendente, y el invento, magnífico, aunque la calidad de grabación era pésima y lo siguió siendo durante mucho tiempo. Una de las primeras sociedades que se dedicó a grabar y comercializar los "discos" (o "cilindros") sobre los que se grababa la música tenía como emblema o logotipo el dibujo de un perro que miraba a la bocina de un *fonógrafo* creyendo que era su amo el que hablaba desde dentro del aparato, queriendo significar con ello que si el perro reconocía la voz de su amo, la calidad de la grabación tenía que ser bastante superior al horrible graznido que era habitual en las grabaciones de la época anterior. Sin embargo, todavía se estaba bastante lejos de la calidad actual.

Del fonógrafo al gramófono Los primeros fonógrafos reproducían los sonidos por medio de la vibración mecánica de una membrana, a la que se hacía vibrar mediante una varilla que unía el centro de ésta con una aguja afilada, que a su vez seguía las ondulaciones o surcos del disco. Para poder mover la membrana era necesario disponer de una fuerza considerable en la aguja, que actuaba sobre el surco. En poco tiempo éste se desgastaba, y una vez desgastado la calidad del sonido se deterioraba. En los años veinte se empezó a usar el *triodo*, válvula que hoy ha sido reemplazada por el transistor, y que sirve para amplificar corrientes y tensiones. Desde entonces el fonógrafo fue sustituido por el *gramófono*, en el que la aguja se desplazaba sobre el surco transformando su movimiento oscilatorio en una tensión alterna, que después de ser amplificada era capaz de mover la gruesa membrana de un altavoz y producir un sonido intenso, sin necesidad de forzar el movimiento de la aguja sobre el disco. Se podían obtener sonidos intensos o débiles variando solamente, con un mando a propósito, el grado de amplificación.

Desde aquel día ya lejano los sistemas de reproducción de sonido no han dejado de progresar.

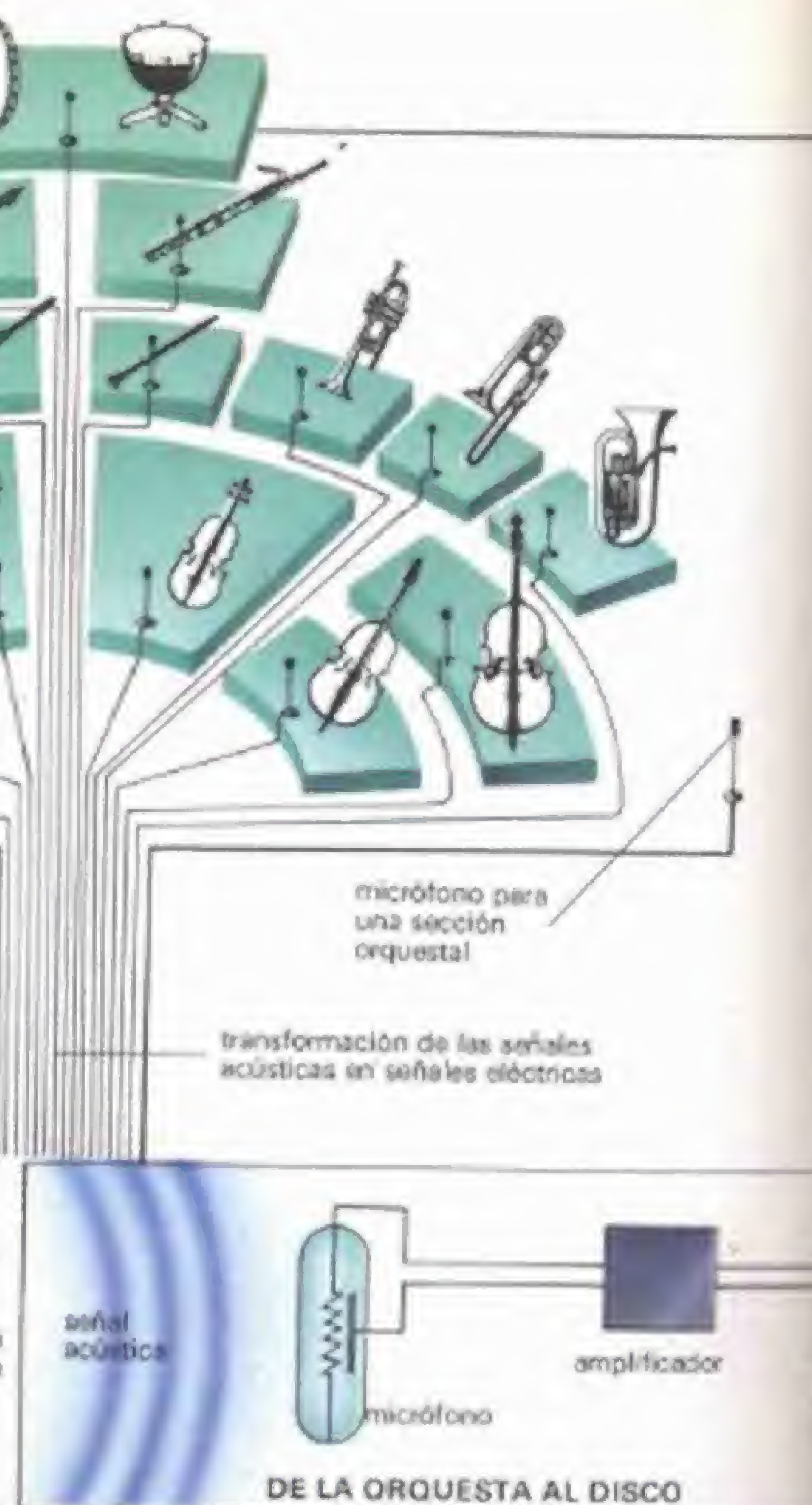
Qué es la fidelidad Fidelidad significa gran parecido del sonido reproducido con el original. Las características del sonido que interesan a efectos de fidelidad son fundamentalmente la *frecuencia* y el *timbre*. Una característica importante del sonido es la *intensidad*, que veremos más adelante. Normalmente, el *tono*, que es otra característica, se considera poco importante, porque cualquier sistema que se precie reproduce los sonidos con la nota correcta: solamente los tocadiscos o magnetófonos con roces o con la regulación de la velocidad de giro o deslizamiento mal ajustada pueden alterar las notas. Queda por considerar el *timbre*, que lo produce la superposición, en la misma nota, de su vibración fundamental y otras frecuencias múltiplos de ésta, que sumándose a ella nos permiten distinguir si la nota ha sido emitida por un cantante, por las cuerdas de un violín, contrabajo, guitarra o piano o por la lengüeta de un clarinete o saxofón.

El timbre, y en consecuencia la "personalidad" de la nota emitida, depende de la mezcla de las distintas frecuencias, que se produce según sean las características físicas de cada instrumento. Si se alteran las proporciones de la mezcla, no se podrá reconocer la fuente de sonido, hasta el punto de que puede parecer emitida por otro instrumento. Por otra parte, es importante conservar las proporciones para las frecuencias que es capaz de oír el oído humano, o sea, las que están comprendidas entre 16 y 20.000 ciclos por segundo (o *hertz*). Un sistema con fidelidad perfecta, absoluta, debería proporcionar al oído música reproducida sin alterar la relación entre las intensidades de todas las frecuencias. En realidad, la fidelidad absoluta no es posible. Es muy difícil reproducir con las mismas proporciones frecuencias muy bajas, medias y altas. Las frecuencias que más dificultad ofrecen son las muy bajas y las muy altas, ya que las de la parte media de la gama se pueden reproducir bastante bien.

El alejamiento de la fidelidad ideal en un

ORQUESTA

micrófono para el instrumento solista



Desde el punto de vista físico, decir que un sistema de reproducción de sonido es de *alta fidelidad* significa que éste es capaz de dar la misma cantidad y calidad de información emitida por la fuente. Para conseguir esto, en la práctica son necesarios aparatos muy perfeccionados. El sonido se transforma en señal eléctrica en el micrófono o micrófonos, a menudo numerosos, que se colocan alrededor de los instrumentos principales de una orquesta (como se puede ver en la imagen). Después de ser transformado en señal eléctrica, el sonido y su calidad deben conservar constantes sus propiedades; para ello son necesarios amplificadores, magnetófonos y sus correspondientes lectoras de pistas que puedan conservar la intensidad de la señal tanto en frecuencias altas como en las bajas. Para obtener ese resultado, toda la cadena de aparatos (a la derecha), que van desde el micrófono al sistema de grabación en disco, tiene que ser capaz de mantener la forma de la señal eléctrica en la que se ha transformado la onda acústica.

Aunque están separados cierta distancia, los micrófonos distribuidos entre los instrumentos de la orquesta pueden captar sonidos no deseados o recoger mal el sonido de su instrumento. Por este motivo, la grabación hecha en directo se filtra en principio con un complejo sistema

SALA DE GRABACION

indicadores del nivel de grabación

magnetófono multipista

MIXER (mesa de grabación)

controles

sistema real se mide por medio de una curva que pone en evidencia si las frecuencias audibles se han reproducido todas con la misma intensidad o si las frecuencias altas y las bajas se han atenuado respecto a las intermedias. Un sistema que se acerque mucho a uno de fidelidad ideal —es decir, que dibuje una curva plana— se llama de *alta fidelidad*.

Fidelidad en la grabación y en la reproducción La alta fidelidad debe conseguirse en cada paso de la grabación y de la reproducción del sonido. La ejecución instrumental se tiene que producir en una sala con el grado justo de reverberación; la dosis correcta de reverberación da a la pieza interpretada una calidad que el entendido sabe apreciar. La toma de sonido se debe hacer con micrófonos capaces de captar todas las frecuencias que intervienen en la composición perfecta del timbre. En las grabaciones estereofónicas los micrófonos tienen que ser por lo menos dos: la estereofonía ayudará después al oyente a sentirse como si estuviera delante de una gran orquesta, con los músicos tocando desde un extremo u otro de la formación; además, se debe colocar un micrófono cerca del solista (o de los solistas, si hay más de uno). La grabación se efectúa primero sobre una cinta magnética de varias pistas, tantas como micrófonos de toma de sonido. Antes de pasar a reproducir las ediciones, se revisan las distintas pistas, rectificando posibles fallos; posteriormente se mezclan, reduciéndolas a dos pistas (para sonido estereofónico) o a una (para el monoaural).

Después de las correcciones, se sacan las copias en cinta o disco. En la edición de cintas los puntos que hay que cuidar más para la reproducción perfecta son las cabezas de grabación y los amplificadores; en el caso del disco se realiza un "molde" original, en el que la fidelidad, o sea, la justa intensidad para todas las frecuencias, se confía a la perfecta "incisión" de la pista por donde se deslizará después la aguja, para lo cual es necesaria una mecánica muy perfeccionada. En la reproducción, tanto el sistema magnético como el mecánico (con aguja) necesitan amplificadores que sean capaces de aumentar la señal procedente de la cabeza magnética o de la cápsula con un coeficiente exactamente igual para todas las frecuencias. Los altavoces también tienen que ser capaces de soportar las tensiones amplificadas y transformarlas en sonido de intensidad proporcional a la amplificación.

En una instalación de alta fidelidad, los aparatos se proyectan y realizan con especial cuidado, de modo que reproduzcan, sin que se introduzcan interferencias ni ruidos extraños, sonidos comprendidos entre las 16 y 20.000 vibraciones por segundo que el oído humano llega a apreciar. Las características de estas instalaciones dependen de la influencia del peor de los aparatos que la componen: por este motivo resulta inútil usar el mejor amplificador cuando se dispone de un altavoz mediocre. Por tanto, para obtener la alta fidelidad es necesario cuidar del mismo modo todos los elementos.

Véase Acústica; Altavoz; Disco; Disco compacto



(que se representa abajo, en el centro) con el que se pueden corregir los defectos de la primera grabación. A continuación, los distintos sonidos, una vez "pulidos" por separado, se pueden mezclar para llegar por fin al disco. Abajo, a la derecha, tocadiscos (o *plato*), magnetófono (o *pletina*), amplificadores y cajas acústicas (o *baffles*) de una cadena de alta fidelidad con mando a distancia.

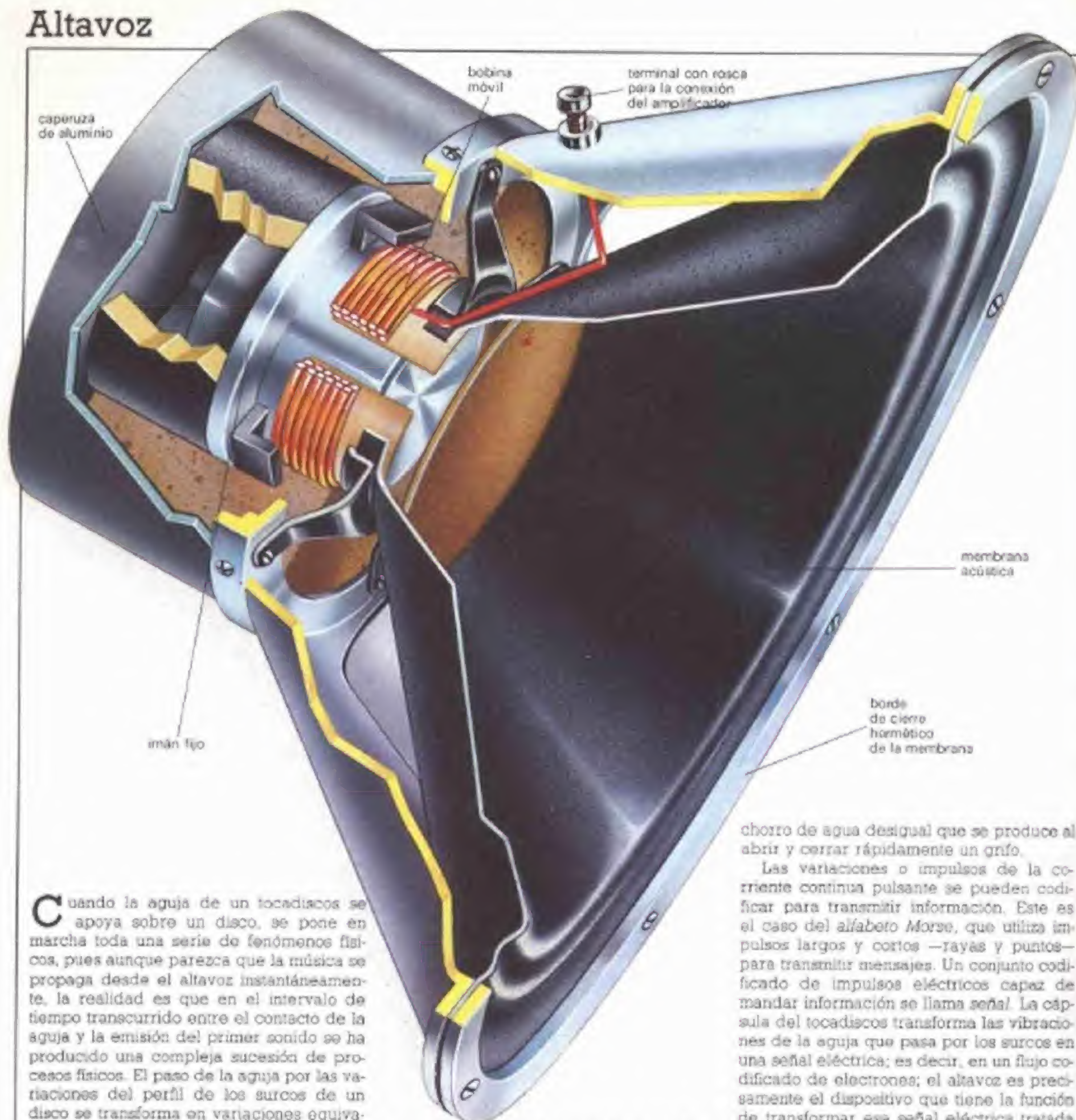
DISCO

grabación en 4 pistas

ESQUEMA DE EQUIPO ESTEREOFONICO

altavoz *tweeter* para frecuencias altas
altavoz *woofer* para frecuencias bajas
caja acústica con dos altavoces
toma de corriente
magnetófono
tocadiscos
amplificador
mando a distancia
caja acústica

Altavoz



Cuando la aguja de un tocadiscos se apoya sobre un disco, se pone en marcha toda una serie de fenómenos físicos, pues aunque parezca que la música se propaga desde el altavoz instantáneamente, la realidad es que en el intervalo de tiempo transcurrido entre el contacto de la aguja y la emisión del primer sonido se ha producido una compleja sucesión de procesos físicos. El paso de la aguja por las variaciones del perfil de los surcos de un disco se transforma en variaciones equivalentes de tensiones eléctricas; éstas, a su vez, se transforman en movimientos mecánicos que originan la vibración sonora que percibimos. Cada paso de ese proceso necesita dispositivos de distintos tipos: uno de ellos es el *altavoz*.

Los altavoces son un ejemplo de lo que los ingenieros llaman *transductores*, que son dispositivos capaces de transformar un tipo de energía en otro. Un ejemplo de transductor es la lámpara que transforma energía eléctrica en luz (energía luminica). Los altavoces convierten la tensión eléctrica que les llega de un amplificador de tocadiscos (o de radio o de micrófono) en sonido. Para ello son necesarias dos fases: en la primera, la energía eléctrica se transforma en energía mecánica; en la segunda, la energía mecánica pasa a ser energía acústica, o sea, la música grabada en el disco.

De la energía eléctrica a la energía mecánica La corriente eléctrica está formada por un flujo de pequeñas partículas con carga negativa, llamadas *electrones*, que circula por el interior de algún elemento, por ejemplo un hilo de cobre.

Cuando los electrones se mueven constantemente en una dirección, el flujo se llama *corriente continua*; pero si los electrones se mueven siempre en la misma dirección variando su número en el tiempo, se establece una *corriente continua pulsante*. Como ejemplo, se puede pensar en el chorro de agua desigual que se produce al abrir y cerrar rápidamente un grifo.

Las variaciones o impulsos de la corriente continua pulsante se pueden codificar para transmitir información. Este es el caso del *alfabeto Morse*, que utiliza impulsos largos y cortos —rayas y puntos— para transmitir mensajes. Un conjunto codificado de impulsos eléctricos capaz de mandar información se llama *señal*. La cápsula del tocadiscos transforma las vibraciones de la aguja que pasa por los surcos en una señal eléctrica; es decir, en un flujo codificado de electrones; el altavoz es precisamente el dispositivo que tiene la función de transformar esa señal eléctrica tratada por el amplificador en ondas sonoras —movimientos organizados de moléculas de aire— a través de energía mecánica.

La energía mecánica es la energía relativa al movimiento de un objeto sólido. En la mayor parte de los altavoces los impulsos eléctricos producen el movimiento de un cono de papel. Si se destapa una caja acústica, se verá la parte más ancha o boca del cono del altavoz. En general, los conos son poco profundos, similares a platos, aunque a veces tienen más profundidad, con forma de embudo. En cualquier caso, el cono se estrecha a medida que se acerca a la parte posterior del altavoz, donde se une a un *tubo vacío* que a su vez se adapta a la forma de un *imán* fijo. Alrededor de

este tubo está enrollada una espiral de hilo fino formando una *bobina*.

Cuando una corriente eléctrica de cualquier tipo pasa a través de un hilo, produce un *campo magnético* alrededor del hilo; un *campo* es la zona en la que se puede percibir el efecto de una fuerza. Una forma de apreciar el efecto del campo magnético es viendo cómo se desvía la aguja imantada de una brújula al acercarla a un cable por el que circula una corriente. Este ejemplo demuestra que los campos magnéticos producen fuerzas sobre los imanes.

Como se ha descrito antes, la bobina del altavoz está situada en el extremo de un imán fijo. Al circular corriente por la bobina, se crea un campo magnético en su interior que atrae la bobina hacia el imán, moviendo el cono que está unido a ella. Si hay una corriente eléctrica fuerte, se origina un campo fuerte y, en consecuencia, el cono se mueve apreciablemente, mientras que si la corriente es débil, el cono del altavoz apenas se mueve.

La corriente continua pulsante provoca un campo magnético también pulsante en la bobina, haciendo que el cono se mueva hacia adelante y hacia atrás; de esta forma las variaciones de corriente, o sea, las señales, se transforman en un movimiento alternado del cono del altavoz. El cono del altavoz es el que realiza la segunda de las transformaciones mencionadas, convirtiendo la energía mecánica de sus movimientos en energía acústica.

De la energía mecánica a la energía acústica Cuando se mueve un dedo dentro de un recipiente con agua, se propaga hacia el exterior una serie de ondas en círculos concéntricos. Al pasar una onda por un punto, las moléculas de la superficie del agua en ese punto se mueven verticalmente con la onda y no horizontalmente.

Las ondas sonoras que se *propagan* en el aire funcionan de forma algo distinta. Cuando se pulsa la cuerda de una guitarra, ésta empieza a vibrar, de forma que cada vibración empuja las moléculas de aire que están más cerca de la cuerda, amontonándolas sobre las que hay al lado; éstas, a su vez, empujan a otras y la onda sonora se propaga en el aire. Si la cuerda se pulsa más fuerte, da un impulso más intenso a las moléculas, lo que produce una onda sonora más densa —una onda con más moléculas agolpadas—, que nosotros percibimos como un sonido más intenso.

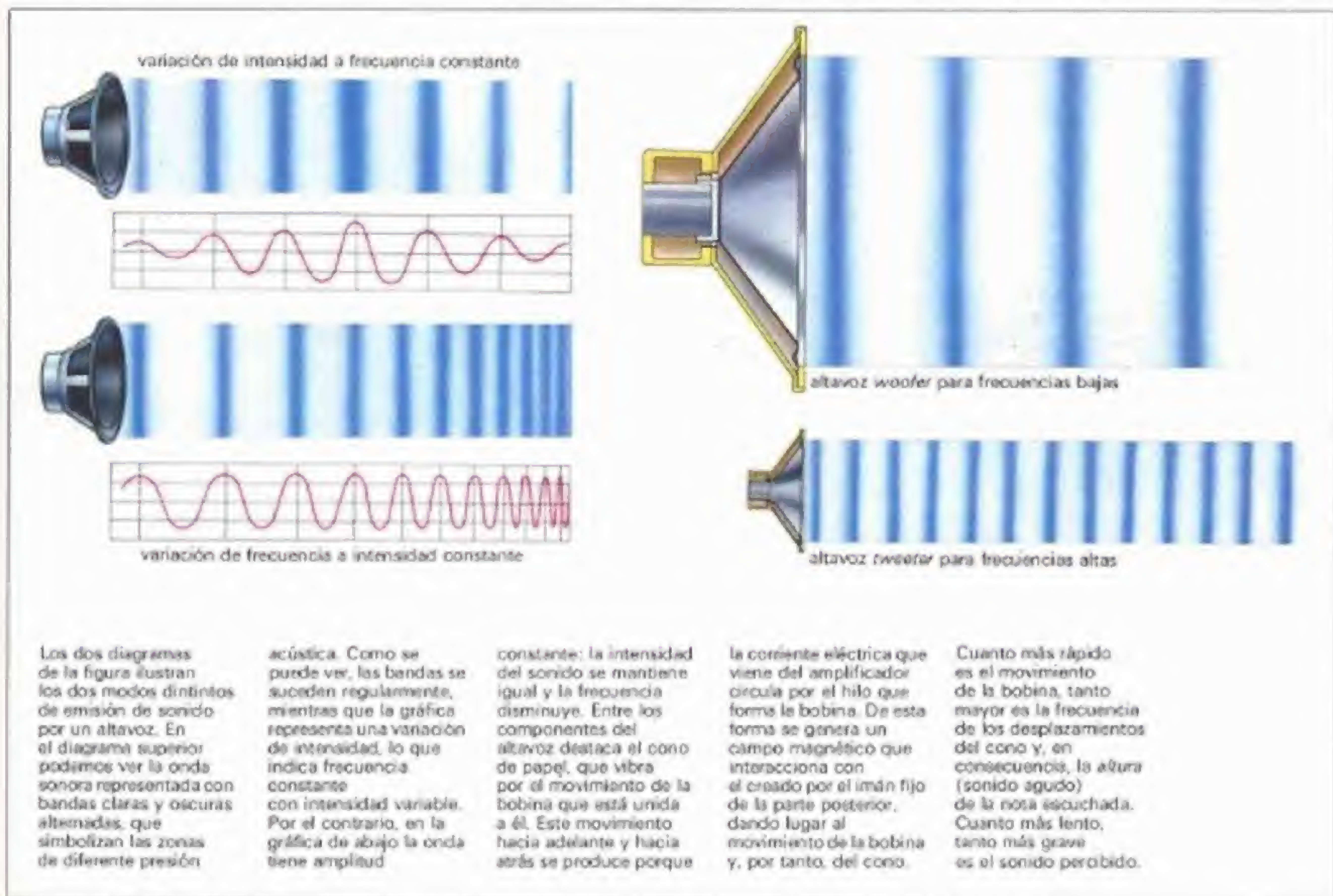
Cuando esas ondas formadas por moléculas de aire llegan a nuestro oído, provocan un impacto que hace vibrar el tímpano, que a través de una cadena de huesecillos transmite las vibraciones hasta el oído interno, hasta donde llega el nervio acústico. Las terminales nerviosas existentes en el oído actúan entonces como transductores, registrando las vibraciones de la membrana y transformándolas en impulsos nerviosos que nos permiten distinguir las distintas notas.

Los altavoces producen el sonido igual que la cuerda de la guitarra, aunque en el altavoz los impulsos proceden de la bobina y no de los dedos; pero, de forma similar a la guitarra, un movimiento fuerte provocado por una señal eléctrica fuerte produce un sonido intenso, mientras que un movimiento débil produce un sonido leve.

En cambio, el número de vibraciones por segundo produce la variación del tono de la emisión sonora. Por un acuerdo internacional la nota *la* tiene 440 vibraciones por segundo; el *la* de la octava superior tiene 880 vibraciones por segundo, lo que corrobora el principio de que las notas más agudas son producidas por un número mayor de vibraciones por segundo. Esto significa que el cono del altavoz puede producir distintos tipos de sonido de dos formas: el volumen depende de la amplitud de la vibración, y el tono, del número de vibraciones.

Tipos de altavoces Existen distintos tipos de altavoces, todos ellos con la función común de transformar corriente eléctrica en ondas sonoras. El sistema magnético que se ha descrito es el más utilizado, y recibe el nombre de altavoz *dinámico* o *de bobina móvil*. El *altavoz piezoeléctrico*, en cambio, tiene otros principios de funcionamiento, aprovechando las propiedades de algunos materiales llamados *piezoeléctricos*.

Véase **Alta fidelidad; Bobina**



Los dos diagramas de la figura ilustran los dos modos dintintos de emisión de sonido por un altavoz. En el diagrama superior podemos ver la onda sonora representada con bandas claras y oscuras alternadas, que simbolizan las zonas de diferente presión acústica. Como se puede ver, las bandas se suceden regularmente, mientras que la gráfica representa una variación de intensidad, lo que indica frecuencia constante con intensidad variable. Por el contrario, en la gráfica de abajo la onda tiene amplitud constante: la intensidad del sonido se mantiene igual y la frecuencia disminuye. Entre los componentes del altavoz destaca el cono de papel, que vibra por el movimiento de la bobina que está unida a él. Este movimiento hacia adelante y hacia atrás se produce porque la corriente eléctrica que viene del amplificador circula por el hilo que forma la bobina. De esta forma se genera un campo magnético que interacciona con el creado por el imán fijo de la parte posterior, dando lugar al movimiento de la bobina y, por tanto, del cono. Cuanto más rápido es el movimiento de la bobina, tanto mayor es la frecuencia de los desplazamientos del cono y, en consecuencia, la *altura* (sonido agudo) de la nota escuchada. Cuanto más lento, tanto más grave es el sonido percibido.

Aluminio

SIMBOLO	Al
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *alumen*, aluminio
N. ATOMICO	13
P. ATOMICO	26.9815
ABUNDANCIA EN LA CORTEZA TERRESTRE	7.5 %
ESTADO NATURAL	Se encuentra en muchos silicatos (feldespatos, plagioclasas, micas)
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	H. C. Oersted (1825)
PRODUCCION	De "bauxita", por transformación en aluminio y electrólisis sucesiva
T. fusión °C	659.7
T. eb. °C	5.400
PESO ESPECIF. Y DENSIDAD	2.7
PROPIEDADES Y USOS	Metal dúctil y maleable; sus aleaciones poseen elevada conductividad; alta resistencia mecánica a la corrosión

BAUXITA



En 1884 fue terminado en los Estados Unidos el monumento a G. Washington: una especie de obelisco de más de 170 metros de altura. Como testimonio de la gran estima en que la nación tenía a su primer presidente, los arquitectos decidieron colocar en la cúspide del monumento una pirámide de un metal que en aquella época era tan preciado como la plata: el aluminio. La estructura realizada en este material, que no pesaba más de 3 kg, supuso tal novedad, que la gente acudió en gran número a admirarla mientras estuvo expuesta en los escaparates de Tiffany, antes de su instalación. Dos años más tarde se ideó un procedimiento para aislar el aluminio, que resultó tan eficaz que, muy pronto, alrededor de este metal se desarrolló una importante industria. Su brillante superficie recubre los dispositivos antiincendio de amianto y los trajes espaciales, pues rechaza la luz y el calor y mantiene fresco al que los lleva. Por su ligereza se usa en la construcción de lanchas motoras de competición, y Alexander Calder lo ha utilizado como material de muchas de sus estructuras móviles; en sartenes y cacharros es un excelente conductor del calor; en hilos y cables conduce la electricidad (después de la plata y el cobre, es el mejor conductor eléctrico). Con un peso tres veces inferior al del acero, resulta muy apreciado en la construcción de las estructuras de aviones y rascacielos, como es el caso del World Trade Center de Nueva York. El aluminio se usa para láminas por su flexibilidad, y en joyería porque puede ser abrillantado y teñido. Por último, es el metal de más fácil reciclaje.

El último de los "grandes" El aluminio es el más reciente y usado de los metales que se emplean actualmente con fines técnicos. Fue aislado por primera vez en 1825 por el físico danés H. C. Oersted, tratando cloruro de aluminio, $Al Cl_3$, con potasio metálico, pero el hecho no pasó de ser un mero experimento de laboratorio.

El primer método para la fabricación del aluminio, que partía de un mineral, la bauxita, que aún hoy constituye la materia prima fundamental, se debe al químico francés M. E. Sainte-Claire Deville, en 1854. Gracias a la generalización de la corriente eléctrica y a la disponibilidad de la bauxita a un coste accesible, nació la verdadera industria del aluminio. C. M. Hall en los Estados Unidos y P. L. Toussaint-Horoult en Francia descubrieron simultáneamente, en 1886, el proceso de electrólisis directa de la alúmina u óxido de aluminio, que, aunque con perfeccionamientos sucesivos, es el mismo que se emplea hoy en día.

El aluminio es el más abundante de los metales que componen la corteza terrestre, constituyendo aproximadamente el 8% de su peso. Y, además, después del oxígeno y del silicio, es el elemento más abundante, en sentido absoluto, sobre la Tierra. En la Naturaleza el aluminio se encuentra sólo

solución de sosa cáustica

MEZCLADOR

formación de aluminato de sodio

DIGESTOR

FILTRO

CUBA DE SEDIMENTACION

solución de aluminato de sodio

separación de óxidos de hierro y otras impurezas sólidas (barros rojos)

barros rojos en la descarga

Para la producción de aluminio metálico se parte de un mineral, la bauxita (hidróxido de aluminio). Después de haber sido molida, la bauxita se mezcla con sosa cáustica en el mezclador y se envía a un digestor en el que, debido a la acción de altas presiones y temperaturas, se transforma en aluminato de sodio, que queda en solución. Las impurezas suspendidas se separan en el fondo de una cuba de sedimentación y se eliminan en forma de barros rojos. Después de una ulterior filtración, la solución de aluminato de sodio pasa a los precipitadores, en los que el aluminio precipita en forma de hidróxido agregándose a cristales de hidróxido de aluminio añadidos para funcionar como núcleos de cristalización. Del concentrador, el hidróxido de aluminio se envía a un horno de calcinación en el que, por efecto del calor, se transforma en óxido, llamado alúmina. Por último, se obtiene el aluminio metálico de la alúmina, a través de un procedimiento de electrólisis.

bajo la forma de compuestos, entre los cuales los más abundantes son los silicatos, que constituyen diversos minerales como los *feldespatos*, *plagioclasas* y *micas*, y minerales arcillosos.

De todas formas, el único mineral que tiene realmente un interés práctico para la extracción del aluminio es la bauxita (el nombre le viene de la localidad de Baux, en Francia, donde se descubrieron los primeros yacimientos). Se trata de un hidróxido de aluminio (Al_2O_3 $2H_2O$) siempre impuro de sílice, óxido de titanio y óxidos de hierro.

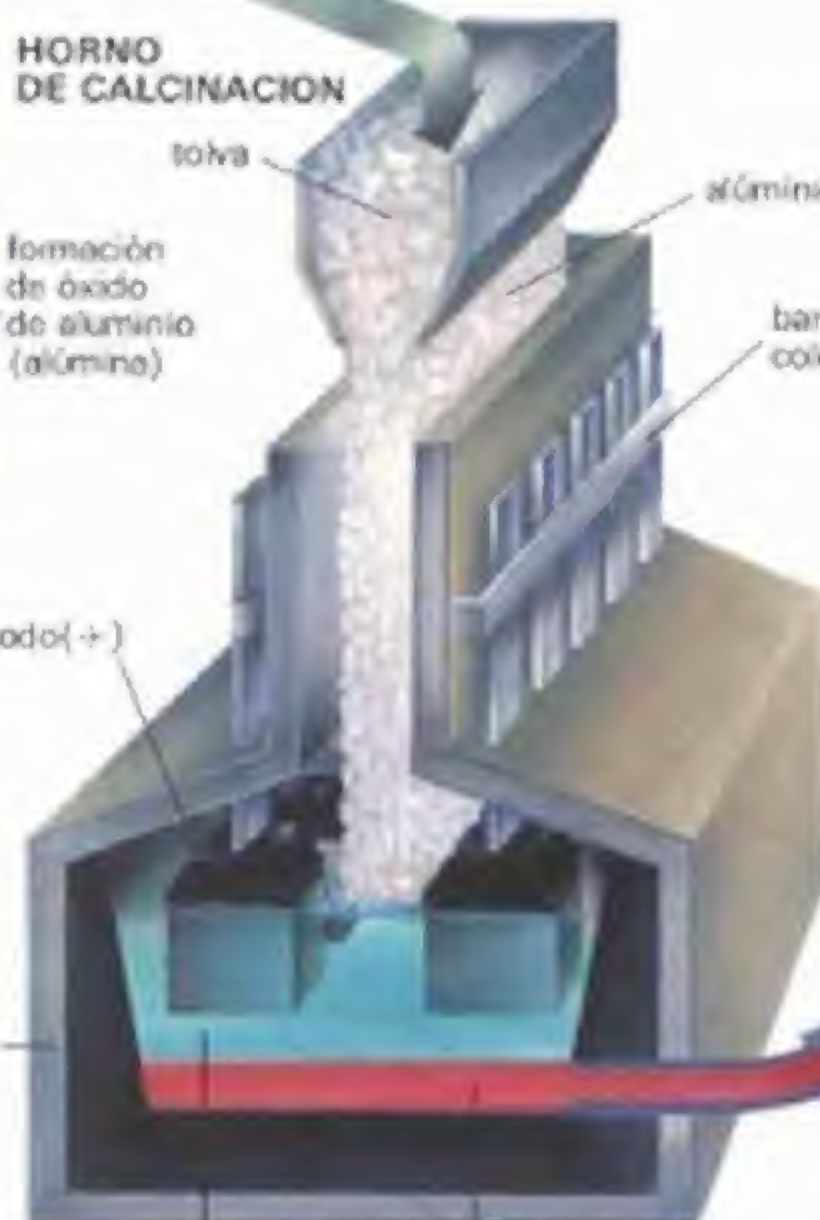
Metalurgia del aluminio A partir de la bauxita, y a través de una serie de tratamientos, se obtiene óxido de aluminio puro o alúmina, de fórmula Al_2O_3. A partir de este compuesto se obtiene por electrólisis aluminio metálico. La electrólisis es un proceso electroquímico en el que se utiliza el paso de la corriente eléctrica a través de una solución que contiene compuestos disociados en iones para provocar una serie de transformaciones químicas (es lo contrario de lo que sucede en una pila, en la que se utilizan transformaciones químicas para producir corriente eléctrica). La corriente eléctrica se "proporciona" a la solución sumergiendo en ella dos electrodos, uno llamado *cátodo* y otro llamado *ánodo*, conectados respectivamente al polo negativo y al polo positivo de una fuente de corriente continua. Los iones positivos (o sea, los que tienen defecto de electrones) van hacia el cátodo, donde se descargan aceptando electrones; los iones negativos (con exceso de electrones) van hacia el ánodo, en el que se descargan cediendo electrones (de esta manera la corriente circula por la solución). Para la producción electrolítica del aluminio se opera sobre una solución particular, obtenida disolviendo alúmina en un compuesto llamado *criolita* (fluoruro doble de aluminio y sodio) fundida (para esto son



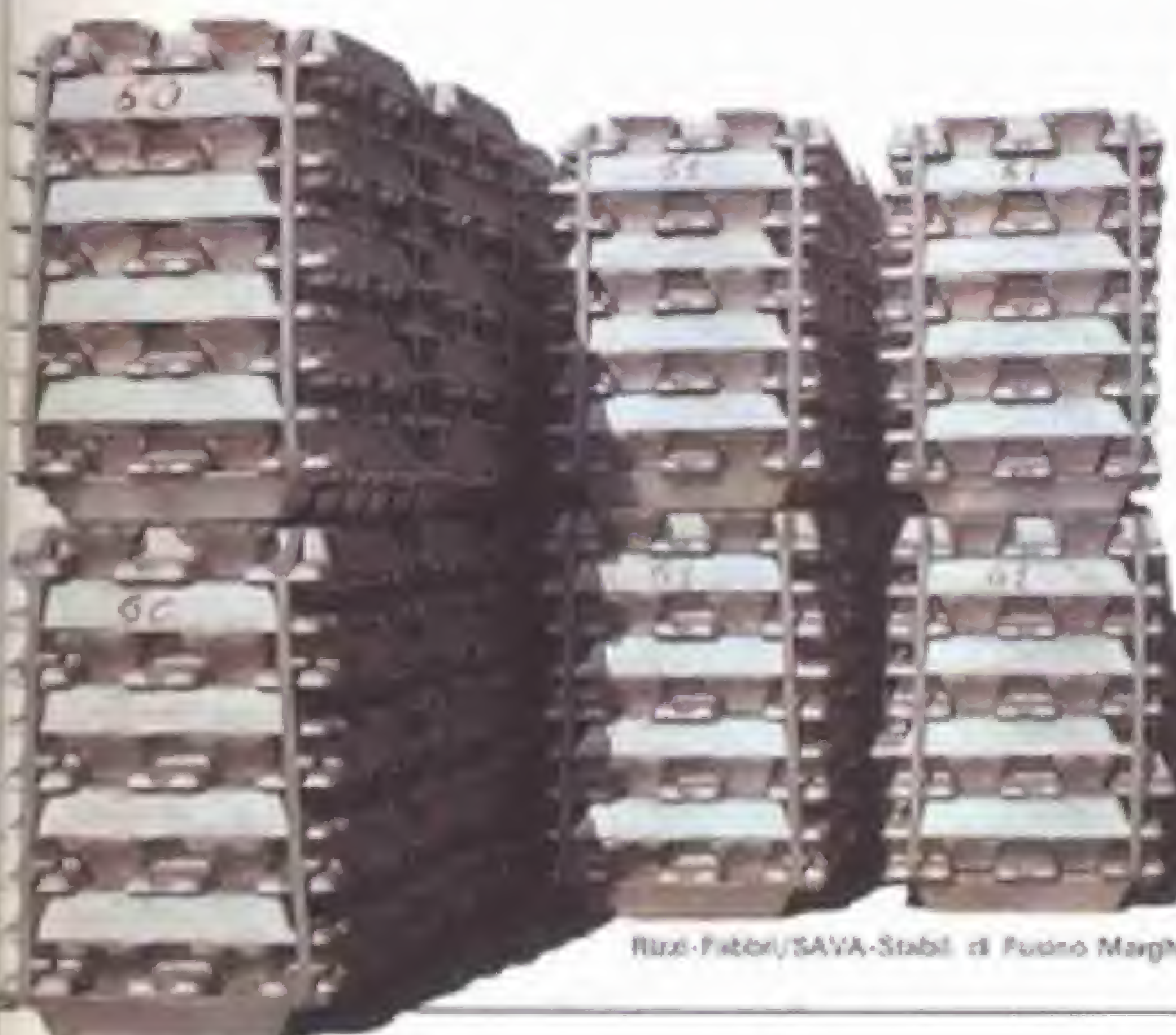








La electrólisis de la alúmina se realiza sobre el compuesto fundido: para bajar la temperatura de fusión se mezcla con una sustancia llamada criolita (AlF_3, 3 NaF), lo que permite trabajar a temperaturas del orden de 1.000 °C. Después del paso de la corriente al ánodo, constituido por una serie de elementos de carbón, se desprende oxígeno, mientras que en el cátodo, formado por una capa de carbón en el fondo de la celda, se deposita el aluminio, que luego se recoge.



Rizzi-Fabbri/SAVA-Stabil. di Fusino Marghera

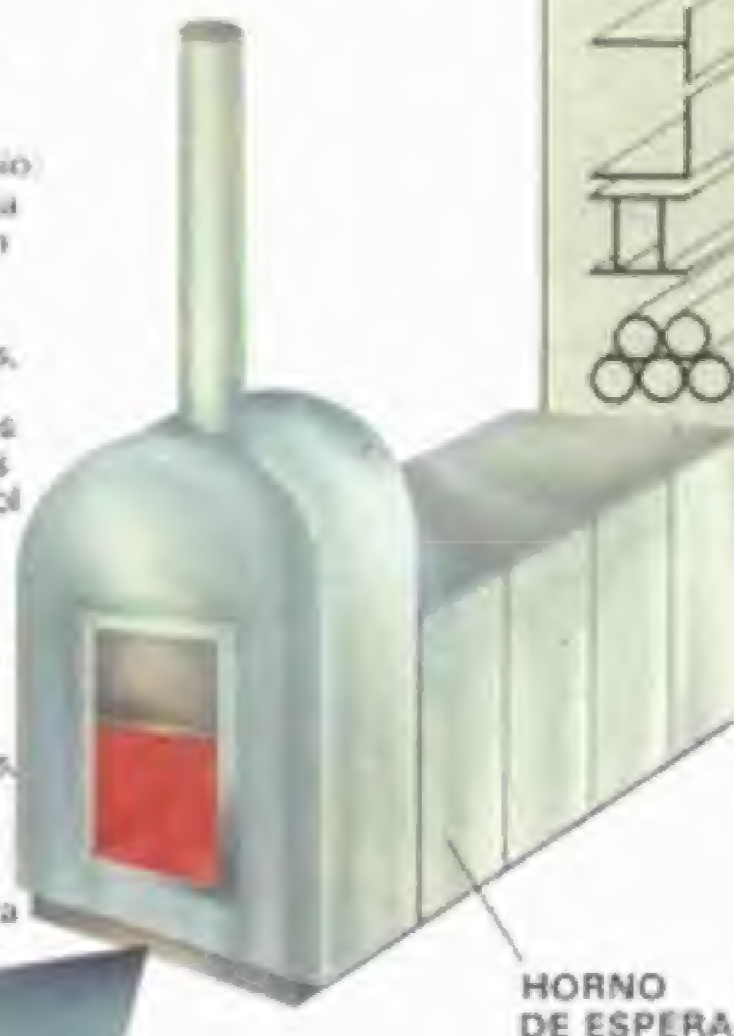
En muchas aplicaciones el aluminio se utiliza como elemento puro: por ejemplo, en forma de láminas muy delgadas para el embalaje de alimentos. A la izquierda, pilas de lingotes de metal puro en espera de otras operaciones. La preparación de aleaciones se efectúa unas veces partiendo del aluminio en vigas, otras partiendo del metal obtenido en la celda electrolítica. La temperatura del metal fundido es suficiente para disolver y fundir los materiales de la aleación, presentes normalmente en cantidades mínimas. Muchas aleaciones se pueden emplear sin tratamientos térmicos. Para las de resistencia elevada en las que el metal se presenta con dotes de resistencia similares a las de los aceros comunes (aunque con una densidad tres veces inferior), se necesita, en muchos casos, un tratamiento térmico. Cuando se necesita aluminio puro se puede utilizar el obtenido en la celda electrolítica, que tiene una pureza de hasta el 99,6-99,9%; una segunda electrólisis puede llevar a una pureza aún más elevada.

necesarias temperaturas del orden de 1.000 °C). La celda electrolítica que contiene esta masa fundida tiene el fondo y las paredes revestidos de carbón: éste es el cátodo, donde se separa el aluminio, que se "saca" a través de una abertura adecuada. El ánodo (en realidad una serie de ánodos), también de carbón, está sumergido en la masa fundida: en él se desprende oxígeno (que reacciona con el carbono formando óxido y bióxido de carbono gaseosos).

En cuanto a consumo energético, el aluminio es uno de los materiales más caros de producir: para obtener un kilogramo es necesario gastar de 17 a 20 kilowatios/hora. Como comparación, para producir acero se necesita una cantidad aproximadamente cinco veces inferior. De todas formas, la necesidad de ahorrar energía ha promovido el desarrollo de un proceso alternativo para la obtención de aluminio que permite una reducción de energía de casi un 70% respecto al procedimiento electrolítico. Este procedimiento, que podría ser adoptado a gran escala en el futuro, parte de arcillas ricas en aluminio en vez de partir de la bauxita. Estas arcillas son tratadas en un horno alto con carbón de coque a aproximadamente 2.000 °C, transformándose en una aleación de aluminio y silicio de la que se separa aluminio metálico.

Un metal muy versátil Desde el punto de vista físico, el aluminio posee una resistencia muy baja a la tracción y una dureza escasa. En cambio, unido en aleación con otros elementos, el aluminio adquiere unas características mecánicas muy superiores. Por ejemplo, el conocidísimo *duraluminio*, obtenido en Alemania en 1907, es una aleación de aluminio con pequeñas cantidades de cobre (3-5%), magnesio (0,5-2%) y manganeso (0,25-1%). Son también impor-





A la derecha, la fase final del proceso metalúrgico para la obtención de aluminio: el metal fundido se liga con varios metales con el fin de obtener determinadas propiedades mecánicas, y al final se somete a tratamientos térmicos que se hacen en hornos bajo un estrecho control de tiempos y temperaturas. Al lado, formas finales de los semielaborados, materia prima para las más variadas actividades industriales. El aluminio y sus aleaciones son el material con el que se prepara la más vasta gama de perfilados.


Rizzi-Fabbri L.L.L. Lav. Leghe Leggere Spa - Stabil Maghera


ALCOA

Los productos arriba indicados favorecen las aplicaciones, puesto que permiten a muchas industrias evitar los trabajos de desglose. Por ejemplo, en la producción de bastidores para puertas y ventanas se parte siempre de planchas; el trabajo resulta no sólo más sencillo y rápido, sino que además se puede efectuar con máquinas de bajo coste. El aluminio y sus aleaciones satisfacen exigencias relativas a la resistencia a la corrosión, para ello se recubren de una delgada capa de óxido (alúmina amorfa) que los protege de una ulterior corrosión de los agentes más comunes. Para obtener una protección mayor se puede producir una oxidación en una capa espesa, que luego se colorea, obteniendo así una mejor calidad estética. En el caso de la industria aeronáutica (a la derecha), la oxidación es necesaria para evitar corrosiones electrolíticas en los puntos de contacto. Mientras que al aluminio empleado como material estructural se le exige una elevada resistencia mecánica, que se puede obtener sólo mediante aleación, hay aplicaciones en las que es indispensable utilizar este elemento purísimo, como el obtenido de una doble electrólisis; un ejemplo, en el centro, es el caso de perfilados de aletas, de los que se sacan los disipadores de calor para componentes de potencia de circuitos electrónicos o de cables eléctricos, recubiertos frecuentemente con un aislamiento flexible.

Las aleaciones especiales de aluminio son aptas para la producción de clavos con deformación, clavos de doble cabeza y tornillos (página siguiente). Al lado, la fachada de vidrio y aleación de aluminio del rascacielos John Ancok Tower de Boston. Mientras que la estructura es de acero, la cobertura en vidrio y aluminio confiere ligereza al conjunto. La protección es de alúmina, material dotado de gran dureza e inercia química, y que se adhiere eficazmente al metal con el que se empareja monolíticamente. Ocho milésimas de milímetro bastan para dar a un edificio de estas proporciones una protección muy duradera.

tantes los diversos tipos de aleaciones *anticorodal*, a base de aluminio, magnesio y silicio, pero que pueden contener a veces manganeso, titanio y cromo: *avional*, *duralinox*, *silumin*, *hidronalio*, *peraluman*, etc., sólo por citar algunas de las centenares de aleaciones de aluminio que hay en el mercado.

Entre los materiales usados en la construcción de los modernos aviones, el aluminio y sus aleaciones tienen una clara prevalencia volumétrica. En la construcción de automóviles el aluminio y sus aleaciones se utilizan para las partes delanteras del motor, para el bastidor, caja de cambios, embrague, ruedas y acabados exteriores.

Este metal ligero ha contribuido de forma importante en la exploración espacial: así, formando láminas, perfiles, estructuras en forma de celdillas de abeja, etc., se ha usado en la construcción de satélites artificiales y de módulos de aterrizaje. Hay que señalar que los proyectos para la primera estación espacial orbital prevén estructuras de aluminio.

Otro aspecto muy ventajoso del aluminio es su capacidad para ser reciclado, o sea, la posibilidad de reutilizar el material de "desecho" (botes, tubos, tapones, hojas), con el que se confeccionan muchos y variados productos.

Véase **Aleación; Electrólisis**

ALCOA



ALCOA



Las aplicaciones más remunerativas en el campo de las aleaciones especiales son las actividades espaciales, en las que se exige a los materiales de construcción propiedades tales como ligereza y resistencia. A la derecha, la salida del cohete que pondrá en órbita la cápsula del *Saturno V*, realizado en gran parte con aleaciones de aluminio. Arriba, minúsculas láminas de aluminio obtenidas mediante una tecnología de solidificación rápida. Es éste un primer paso hacia una nueva generación de aleaciones.

ALCOA



Ambulancia

La ambulancia consiste generalmente en un auxilio médico móvil dotado de los medios idóneos para un primer socorro de urgencia y que permite además el posterior traslado de la persona enferma o accidentada a un centro hospitalario en el que la asistencia se complete y precise mediante los oportunos diagnósticos y acciones terapéuticas, que concluirán en un dictamen médico del que dependerá la vuelta del paciente a su domicilio o el eventual internamiento en el hospital.

En esta cadena de socorro de emergencia, la ambulancia es, por tanto, el primer eslabón de apoyo y auxilio. En los casos de conflictos o catástrofes, se instalan ambulancias fijas, para primeros auxilios, en lugares resguardados dentro de las zonas del desastre o muy cerca de ellas.

El equipo esencial La ambulancia representa, pues, un medio ágil e idóneo para una primera asistencia. En gran medida, la evolución posterior de afecciones graves o de lesiones depende de la rapidez y de la capacidad técnica de actuación en las terapias de emergencia. Por esta razón, y para ser aprobadas por las autoridades sanitarias competentes, las ambulancias deben reunir una serie de requisitos esenciales de construcción y equipo móvil permanente.

En primer lugar, el espacio disponible debe ser lo suficientemente amplio como para que el personal pueda moverse en su interior sin dificultades, incluso de pie. El vehículo deberá contar con una ancha puerta trasera y, además, otra lateral, independiente de la cabina del conductor. Igualmente debe estar dotado de una sirena bitonal y de señales ópticas bien visibles para su inmediato reconocimiento.

El equipo mínimo está constituido por un conductor y dos camilleros. La ambulancia contará con un maletín portátil de primeros auxilios, material necesario para inmovilizar las extremidades o todo el cuerpo, la camilla convencional o una en que pueda trasladarse al accidentado, sin necesidad de moverlo, mediante el acoplamiento de elementos tubulares. Se habrá de prever también una bombona suministradora de oxígeno y un balón con mascarilla como respirador manual. Entre el material considerado como fijo, se dispondrá de un lavabo de un seno para agua, un aspirador eléctrico, otro suministrador de oxígeno, un sistema para poder sujetar fuertemente la camilla y una butaca llamada "cardiopática" por su uso específico y que resulta muy útil no sólo para los pacientes de enfermedades cardiovasculares, sino también en los casos de fracturas costales o en insuficiencias respiratorias debidas a bronconeumonías u otras enfermedades graves. Habrá, finalmente, tres asientos para dos personas del equipo y un acompañante.

El centro móvil especial Para conseguir una terapia de emergencia de cierto nivel, con la finalidad de proporcionar un inmediato confort e impedir un eventual empeoramiento, se necesitan equipos especiales. Por esta razón no existe un tipo único de ambulancia, sino que los grandes centros disponen en su parque de unidades distintas, adaptadas al fin principal al que están destinadas. Desde las ambulancias más elementales, aptas para transportar personas que requieren un simple traslado, hasta las que son refinados y especializados centros médicos, cuyos complejos equipos son equivalentes a los de una sala de operaciones, si bien con una ubicación más reducida. En ellas no sólo es posible reanimar un caso de notable gravedad y seguir su mejoría con un registro electrocardiográfico continuo, sino que hasta pueden



La ambulancia moderna, aunque no sea un completo hospital, es efectivamente un centro de socorro rápido y de preparación para una intervención más compleja que se efectuará luego en un centro hospitalario. Arriba, detalle del interior. En las paredes está dispuesto el material para una intervención rápida, material que va desde bombonas de oxígeno hasta vendas, gasas y desinfectante de varios tipos. Junto a la camilla, de fácil transporte, sobre la cual se coloca cuidadosamente al paciente, hay sitio para el médico y un acompañante, que disponen de espacio más que suficiente para trabajar cómodamente.

efectuarse pequeñas intervenciones quirúrgicas. Es posible, en efecto, realizar suturas de varios tipos, anestesiar o practicar una traqueotomía de emergencia; esta intervención consiste en restablecer la respiración a una persona a la que su estado traumático se lo impide; para ello, se practica una incisión en el cuello del paciente, que alcanza la tráquea, y se inserta una cánula conectada al respirador automático. La complejidad de este socorro exige un especial adiestramiento médico del equipo, en el cual es imprescindible un médico anestesista-reanimador. El mantenimiento de las costosas y delicadas instalaciones, el adiestramiento del personal médico, el disponer de un equipo completo siempre alerta para una emergencia, y la puesta al día de los Centros de Reanimación y Terapia son objetivos costosos y difíciles, pero totalmente necesarios si se pretende que los auxilios móviles cumplan su función con eficacia.

Véase **Hospital**





CRI, Milán



Mary Evans Picture Library/Archivo Salvat



CRI, Milán



unidad
móvil
"Lifeshelter"



Son numerosos los aparatos de los cuales se dispone en una ambulancia moderna. En la foto superior, en la pared interior de la puerta del vehículo están dispuestos unos utensilios que sirven para liberar al accidentado de objetos que lo aprisionen o lo opriman de forma lesiva. Sobre estas líneas, el monitor de un cardioanimador, útil para la atención urgente de cardiopatías. Actualmente las ambulancias van equipadas, con frecuencia, de instrumentos tales como dispositivos para la reanimación, para la liberación de obstrucciones de las vías respiratorias, equipo para traqueotomía, laringoscopios con tubos endotraqueales y respiradores mecánicos con suministradores de oxígeno. Para intervenciones de urgencia se dispone igualmente de aparatos para anestesiar. Algunas ambulancias van provistas también de radioteléfono mediante el cual se comunican con el hospital que está esperando al paciente. Para el traslado de accidentados graves puede haber un colchón neumático que se adapta a la forma del paciente inmovilizándolo y que puede ser usado como camilla supletoria. El accidentado puede ser radiografiado sin moverle del colchón. Algunas veces el transporte por carretera no resultaría eficaz al estar muy lejos el centro con el equipo para los eventuales tratamientos especiales del paciente. En este caso se requiere el transporte por helicóptero o mixto tierra-aire. Para evitar el retraso o la interrupción de intervenciones de socorro rápidas, se utiliza una unidad móvil que puede ser elevada por un helicóptero y transportada en un camión. Consiste en una estructura en forma de container, manejable (está construida de aleación ligera) pero fuerte al mismo tiempo, y dotada de los equipos adecuados para una rápida intervención. Como contraste, en el grabado, un vehículo manual utilizado en 1882 por la St. John Ambulance Association.

Ametralladora



A la izquierda, una versión de ametralladora ligera de infantería. Este tipo de arma se utiliza también en su versión pesada, que, aunque no llega a pesar tanto como una pieza de artillería, no es portátil, si bien es fácilmente transportable sobre carros de combate y en aviones. La mayor parte de las ametralladoras es de calibre modesto: a menudo de unos 7-8 mm. Las pesadas son, en cambio, de media pulgada (12,7 mm) y algunas hasta de 20 mm. Desde este calibre en adelante se emplean cañones automáticos cuya carga se efectúa mediante un motor eléctrico.

La segunda mitad del siglo XIX fue un período muy importante en la historia de la tecnología militar, particularmente en el campo de los cañones y de los fusiles. El desarrollo de explosivos químicos, como un tipo mejorado de pólvora de proyección, y la adopción de vainas metálicas para las municiones hicieron posible la construcción de versiones eficaces de varios tipos de armas que sirvieron de prototipo para los fusiles y cañones modernos.

Entre las mejores armas desarrolladas en este período está el fusil *Maxim*, predecesor de la actual ametralladora que constituye la base del armamento de la infantería moderna. En 1884, Hiran Stevens Maxim, un inventor estadounidense residente en Europa, patentó un proyecto que realizaba lo que los inventores habían buscado durante años, o sea, un fusil pesado automático capaz de disparar varios proyectiles seguidos con un solo cañón. Maxim formuló el principio del aprovechamiento del retroceso, que constituirá la base de uno de los principales sistemas de funcionamiento de las ametralladoras del siglo siguiente, período en el que se ha registrado una enorme demanda de este tipo de armas.

El principio de retroceso Maxim descubrió un método que aprovechaba parte de la carga de proyección de cada cartucho para volver a cargar el arma para el disparo siguiente. Obtuvo este resultado al utilizar la propiedad de las municiones de reciente desarrollo que contenían una carga fulminante, una carga de proyección constituida por pólvora sin humo (nitrocelulosa) y un proyectil. En un arma convencional, con cada disparo, cuando se aprieta el gatillo, se libera un percutor que golpea el fulminante situado en la base de la vaina. Aquel hace explosionar la carga de proyección, que produce una gran cantidad de energía térmica y de gases y lanza el proyectil al interior del cañón del arma en dirección al blanco. A cada acción corresponde una reacción igual y contraria: en el caso de las armas de fuego, la reacción consiste en un impulso hacia atrás, conocido con el nombre de *retroceso*.

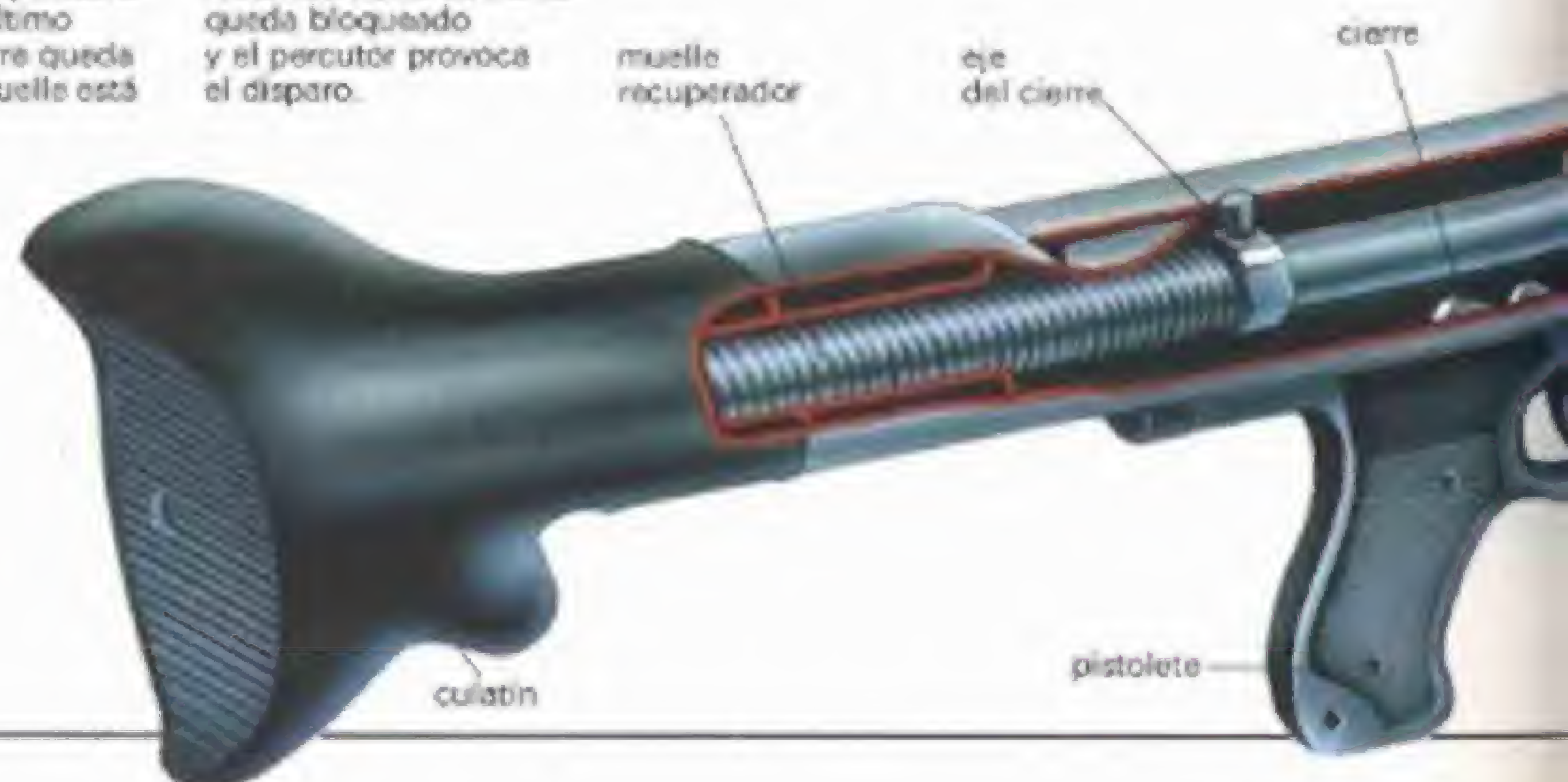
Maxim consiguió aprovechar esta energía residual para mover la culata portadora de la vaina explosionada hacia atrás, hasta una posición en la que la vaina vacía era expulsada y reemplazada por un nuevo cartucho, que automáticamente era llevado hacia adelante a la posición de disparo. Usando este fenómeno del retroceso, se han desarrollado numerosas generaciones de ametralladoras muy eficaces.

Una de las mejores armas es la ametralladora alemana MG 42-59, un arma compleja que puede proyectarse de diversos modos para disparar a nueve velocidades de tiro distintas, desde 600 disparos por minuto hasta la extraordinaria velocidad de 1.400 disparos por minuto.

Funcionamiento por toma de gases El otro principio para lograr automáticamente el disparo, la expulsión de la vaina, la carga y el disparo siguiente es el basado en el aprovechamiento de los gases de proyección. Cuando se hace un disparo, la vaina es impulsada hacia atrás por la energía de los gases producidos por la explosión de la carga de proyección. Esa fuerza arma un muelle o un pistón y provoca la expulsión de la vaina vacía. Un nuevo cartucho es introducido en el mecanismo por una cinta portacartuchos o por un cargador. En el recorrido de regreso, la energía del muelle o del pistón impulsa la culata a la posición de disparo y éste se efectúa automáticamente, repitiéndose de nuevo el proceso descrito.

La mayor parte de las ametralladoras y de los fusiles automáticos utiliza el sistema de toma de gases. Dos tipos estándar son el inglés GPMG (*general purpose machine gun*) y el norteamericano M-60. Estas armas se montan sobre afustes de dos o tres pies y se alimentan por cargadores de cinta. En la II Guerra Mundial y en la

Una de las mejores ametralladoras ligeras jamás construida es la MG 42, ametralladora alemana en la que la recarga se obtiene por retroceso del cañón y recuperación de la energía de los gases de la carga de proyección. Después del último disparo, el cierre queda cargado (su muelle está comprimido). Apretando el disparador, el cierre es impulsado hacia adelante por el mismo muelle y provoca la introducción de un cartucho en la recámara, al comienzo del cañón. Al término de su recorrido hacia adelante queda bloqueado y el percutor provoca el disparo.



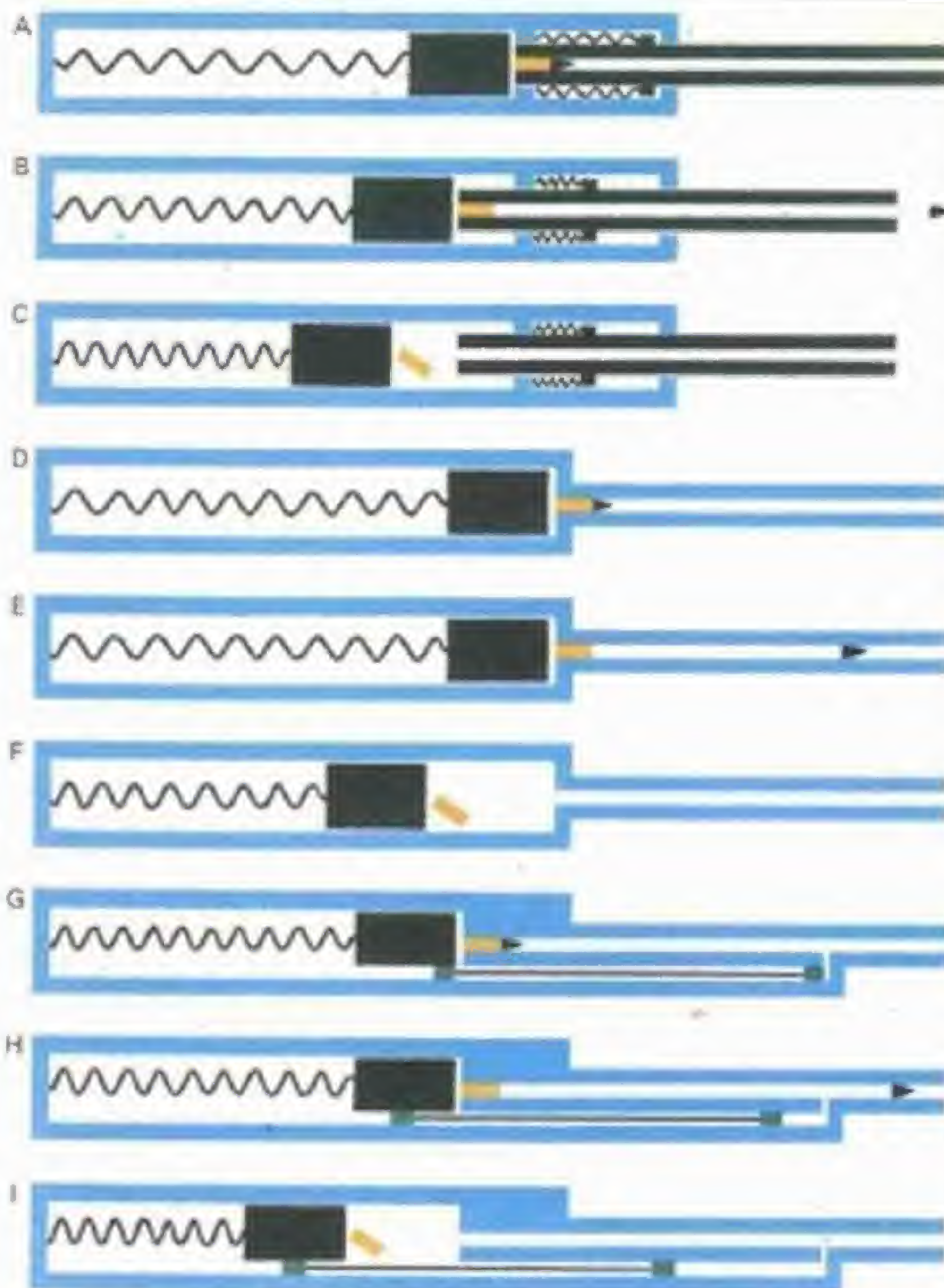
guerra de Corea se emplearon ametralladoras de 7,62 y 12,7 mm de calibre, sustituidas por la M-60 a partir de 1957. Esta dispara proyectiles de 7,62 mm y pesa entre 11 y 22 kg en función de sus características y de sus elementos, tales como el afuste y las municiones.

Las ametralladoras presentan una estrecha afinidad con las armas más pequeñas (pistolas ametralladora) que disparan proyectiles análogos a los de las pistolas, con los fusiles automáticos o ametralladoras ligeras de unos 7 kg de peso, y con fusiles de asalto que utilizan municiones de mayor calibre que las pistolas y menor que el de los fusiles.

La ametralladora ha demostrado ser una de las armas de guerra más terroríficas que ha habido a lo largo de la Historia. Toda la concepción del combate en trincheras desde 1915 hasta 1918 fue una respuesta a su terrible eficacia. Constituye un arma de apoyo fundamental del avance de la infantería y el esqueleto esencial de toda acción defensiva.

Véase **Cañón y municiones; Fusil; Lanzagranadas**

Los tres sistemas más usados para la realización de la carga de la ametralladora. En A, sistema de retroceso en el momento del disparo. En B, el cañón ha retrocedido impulsando hacia atrás a la masa del cierre. Pero mientras el cañón encuentra un tope (C), el cierre prosigue y extrae la vaina. En D, la primera fase del sistema de impulsión hacia atrás de la vaina. Aquí el arma está montada y el percutor hace explosionar la carga de proyección. En E, el proyectil parte hacia adelante: la vaina impulsa sobre la masa del cierre, pero, a causa de su inercia, ésta se mueve hacia atrás sólo cuando el proyectil ha recorrido todo el cañón. Sólo entonces (F) se libera la vaina y el cierre vuelve hacia adelante cargando de nuevo el arma. En G, la primera fase del sistema por toma de gases (disparo); el retroceso no puede hacer mover hacia atrás el cierre. En H, el proyectil está en la boca del cañón y los gases actúan sobre el pistón, que desplaza el cierre, la vaina se libera y el retorno del cierre realiza la carga.

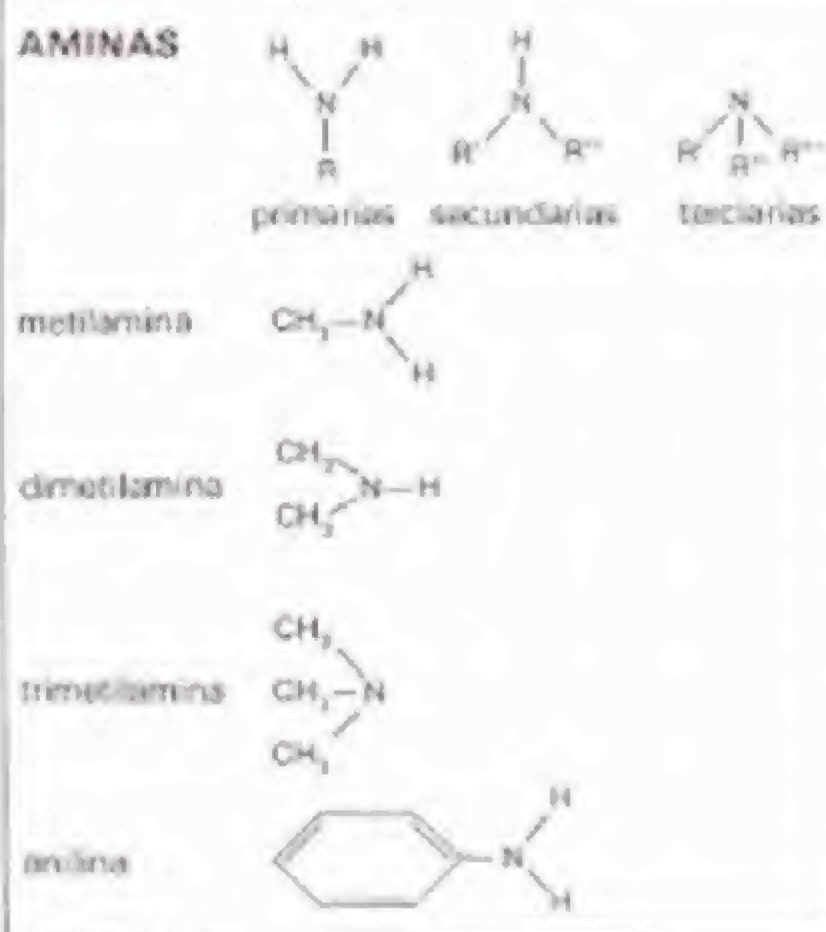


tapa del mecanismo de alimentación
cierre
punto de mira
apagallamas
alza
cañón
cinta cargadora
disparador
bípode

Aminas y amidas

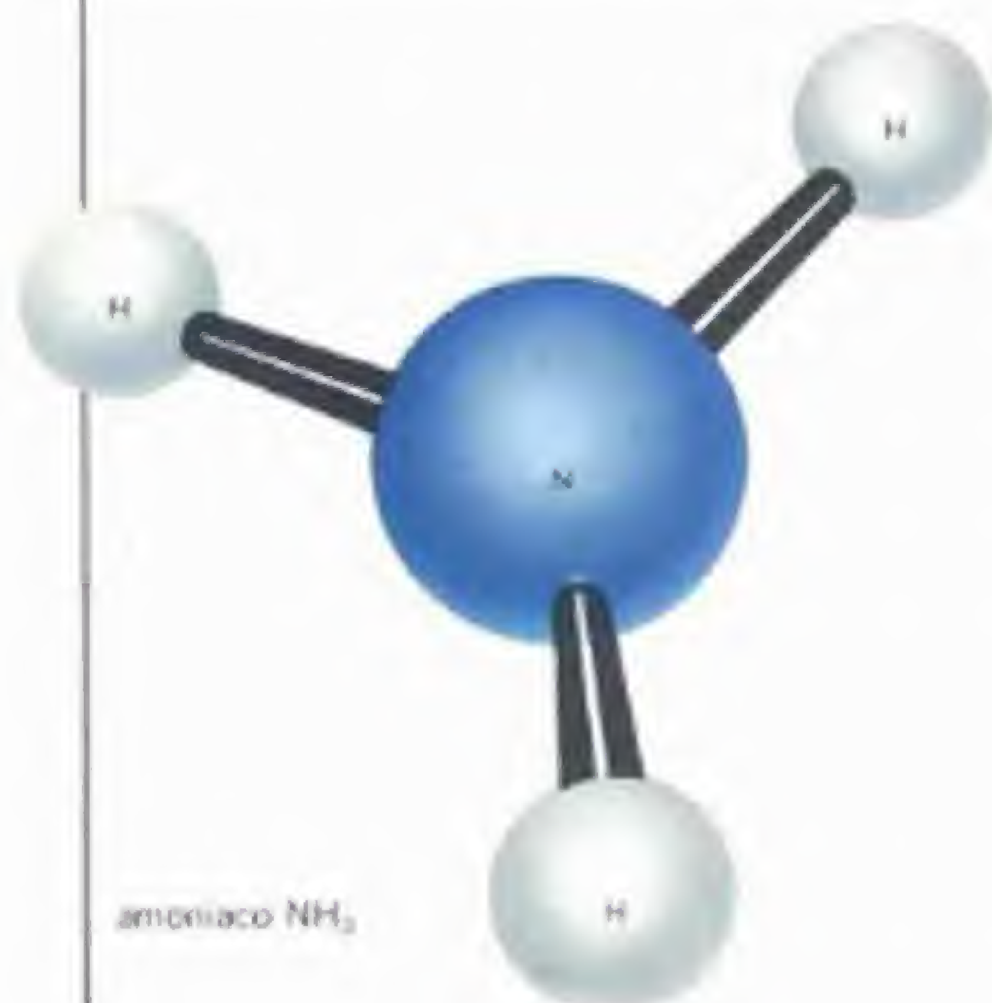
Aproximadamente ocho partes sobre diez del aire que respiramos están formadas por moléculas de un elemento gaseoso, el nitrógeno (*N*), dotado de muy escasa reactividad química. Este mismo nitrógeno, cuando se combina con tres átomos de hidrógeno (H), formando el compuesto amoniaco (NH_3), adquiere una excepcional versatilidad que le permite incorporarse a toda una serie de compuestos orgánicos, llamados por eso *nitrogenados*, entre los que figuran, además de los aminoácidos y las proteínas, de importancia básica en Biología, las aminas y las amidas, que están estrechamente ligadas con los primeros.

Aminas Formalmente derivan del amoniaco por sustitución de una parte o de todos los átomos de hidrógeno por radicales orgánicos alifáticos o aromáticos: así, sustituyendo un átomo de hidrógeno por el radical *metil* CH_3, derivado del metano CH_4 (hidrocarburo alifático), se obtiene la metilamina $CH_3—NH_2$; sustituyendo un átomo de hidrógeno por el radical *arilo* C_6H_5, derivado del benceno C_6H_6 (hidrocarburo aromático con estructura de anillo hexagonal), se obtiene la anilina, de fórmula $C_6H_5—NH_2$. Según que los átomos de hidrógeno sustituidos sean uno, dos o tres, se obtienen respectivamente las aminas *primarias*, *secundarias* o *terciarias*.

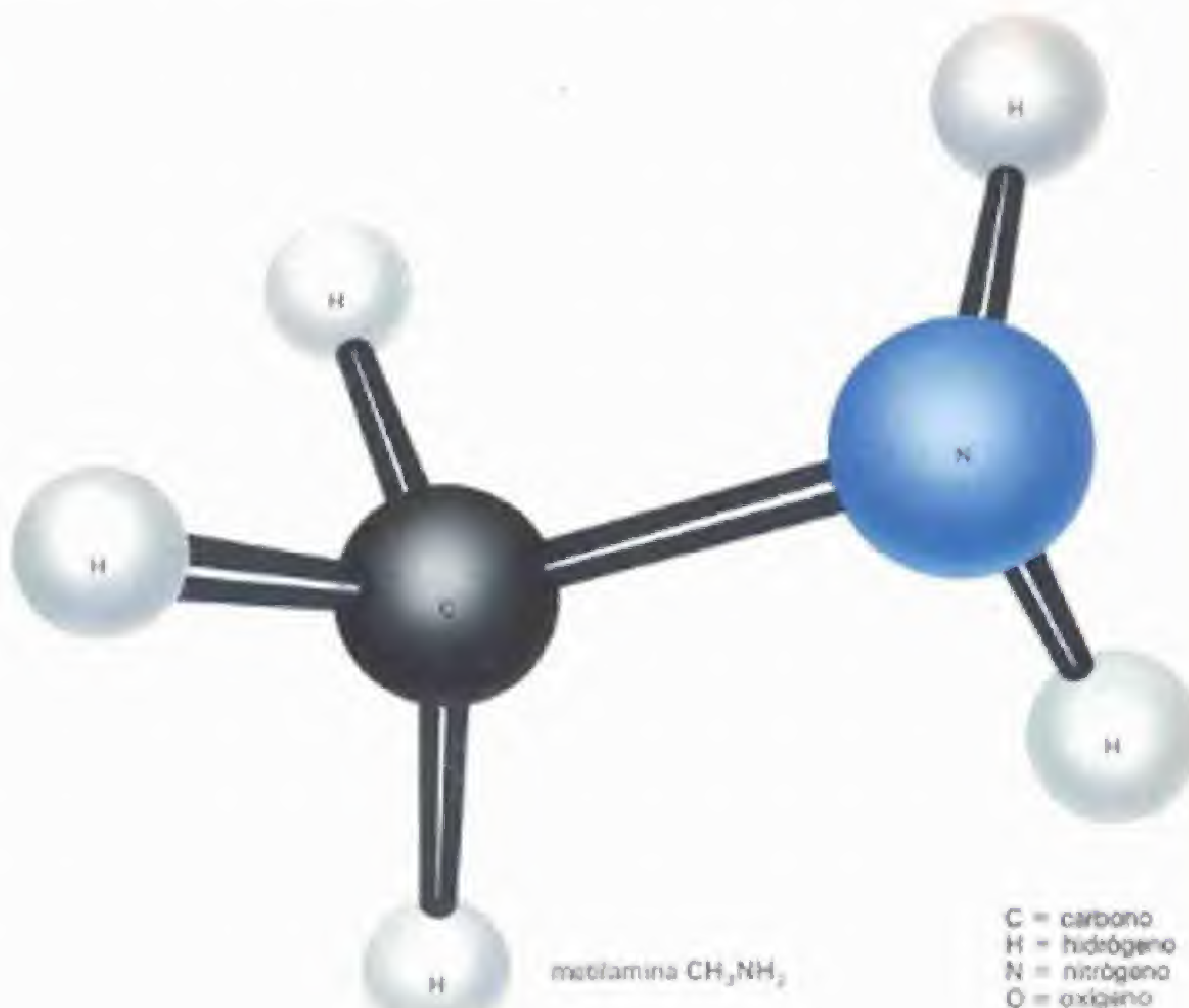


El nitrógeno, que es un elemento muy poco reactivo, una vez que forma el amoniaco al combinarse con el hidrógeno, puede entrar a formar parte a través de éste de una familia de compuestos orgánicos, las aminas, que se pueden considerar como cabeza de serie de todo un conjunto de derivados entre los que se cuentan unos que están en la base misma de la vida: los aminoácidos y las proteínas. Las aminas más simples, como la metilamina, se disuelven en agua dando reacción alcalina, es decir, se comportan como bases igual que el amoniaco.

Con los ácidos minerales, las aminas forman sales que se conocen como sales de amonio sustituido. La amina más importante, la anilina, se obtiene industrialmente a partir del nitrobenceno. Por la condensación del amoniaco o de una amina con un ácido se obtienen las amidas, que comprenden, además de la urea, conocidísimo producto del metabolismo animal, un importante tipo de fármacos que son las sulfamidas. De alto interés industrial son las fibras sintéticas llamadas poliamidas, que incluyen los distintos tipos de nailon.



amoniaco NH_3



metilamina CH_3NH_2

Las *aminas alifáticas* son bastante parecidas al amoniaco; tanto es así, que también se comportan como bases en las soluciones acuosas. En la Naturaleza se encuentran a menudo entre los productos de descomposición o putrefacción de organismos animales, pues se forman en la degradación de las proteínas en los distintos aminoácidos que las constituyen: los aminoácidos pierden una molécula de dióxido de carbono y se transforman en diaminas de muy mal olor, como por ejemplo la *putrescina* $[NH_2 (CH_2)_4NH_2]$ y la *cadaverina* $[NH_2 (CH_2)_5NH_2]$. A las tres aminas más simples, mono, di y trimetilamina, todas gaseosas, se debe el desagradable olor típico de los pescados mal congelados.

El átomo de nitrógeno de una amina terciaria puede unirse a un cuarto radical *alquílico*, y en tal caso se obtienen los compuestos conocidos por el nombre de *sales de amonio cuaternarias*, que por su acción tensoactiva y microbicida tienen aplicación en la industria farmacéutica: un ejemplo de ello es el cloruro de trimetilamonio, de fórmula $[N (CH_3)_4]^+C^-$.

En el campo industrial, una de las aminas alifáticas más importante es la *exametilendiamina*, que forma un polímero con el ácido adípico, dando lugar a un tipo de nailon (que es una poliamida).

Es digna de ser mencionada la *ciclohexilamina*, que, además de otras aplicaciones, actúa como producto intermedio en la fabricación de un tipo de edulcorante sintético conocido como *ciclamato*.

Mayor interés, por su amplia aplicación en diversos campos, tienen las aminas aromáticas y en primer lugar la *anilina*, que es la amina más importante en términos absolutos. El nombre de anilina procede del español *añil*, que significa índigo, ya que fue obtenida por primera vez en 1826 por destilación del índigo. La anilina es un importantísimo producto intermedio para la obtención de una vasta gama de colorantes orgánicos (por ejemplo, los *negros de anilina*). También se aplica como producto auxiliar en la industria de la goma, como intermedio en la industria farmacéutica y en la preparación de resinas sintéticas (resinas de anilina-formaldehído).

Otras importantes familias de derivados con el grupo amino son los aminoalcoholes, de fórmula OH—R—HN_2 (donde el grupo OH es el hidróxilo alcohólico), que se emplean en la fabricación de jabones y agentes emulsionantes; la adrenalina es una hormona que se puede considerar como un aminoalcohol complejo.

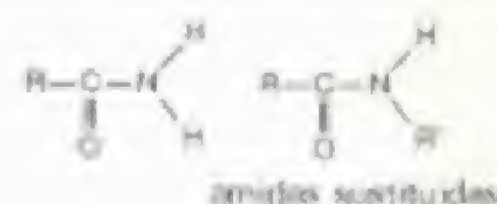
Amidas Formalmente proceden de la condensación entre un ácido R—COOH y el amoniaco, o también de una amina, con eliminación de una molécula de agua. Por lo tanto se pueden considerar como derivadas bien de los ácidos o bien de las aminas. Las proteínas están constituidas por fragmentos de aminoácidos unidos entre sí por puentes amídicos (llamados también *enlaces peptídicos*); la urea, producto final del metabolismo de los compuestos nitrogenados en los mamíferos y en otros animales, además de ser un importantísimo fertilizante producido a gran escala por síntesis, es una amida (concretamente la amida del ácido carboamínico. La urea, en combinación con el formaldehído, sirve también para la preparación de un grupo de materias plásticas termoendurecidas denominadas *aminoplásticas*, que tienen diversas aplicaciones, desde la fabricación de botones hasta la de objetos para la casa y en electrodomésticos. Son también amidas algunas sustancias naturales muy difundidas en el reino vegetal y agrupadas bajo el nombre de *alcaloides*. De dichos ejemplos se infiere la importancia y la difusión natural de estos compuestos químicos.

Otro grupo de amidas bien conocido y apreciado es el de las sulfonamidas, RSO_2NH_2, más conocidas como *sulfamidas*, fármacos de gran eficacia quimioterapéutica que, algo desplazados por la aparición de los antibióticos, han vuelto a recuperar su importancia progresivamente.

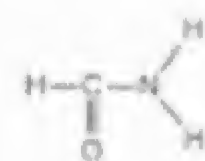
Desde el punto de vista industrial, tienen gran interés las fibras poliamídicas, que comprenden varios tipos de nailon y se caracterizan por la presencia del grupo amídico —CO—NH—, que es el elemento que se repite en su estructura. Se obtienen por policondensación de ácidos bicarboxílicos de cinco o seis átomos de carbono y diamina pura de cinco o seis átomos de carbono.

Véase **Acidos y bases; Aminoácidos; Amoniaco; Anillo bencénico; Nitrógeno**

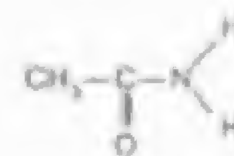
AMIDAS



formamidas



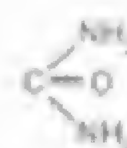
acetamidas



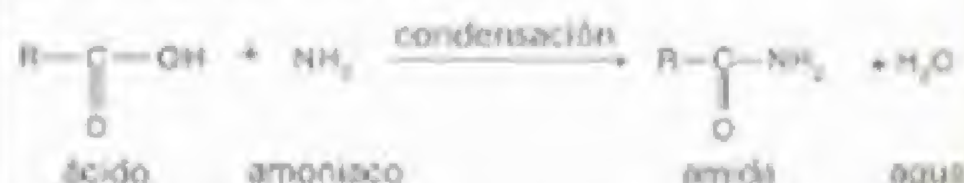
benzamidas

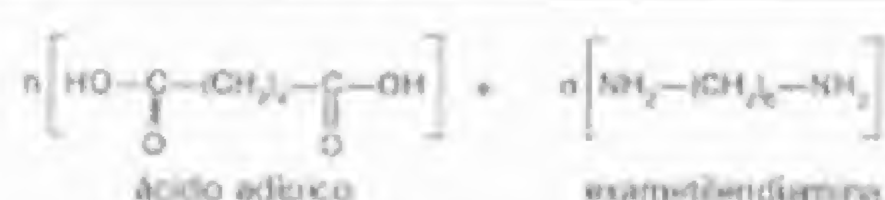


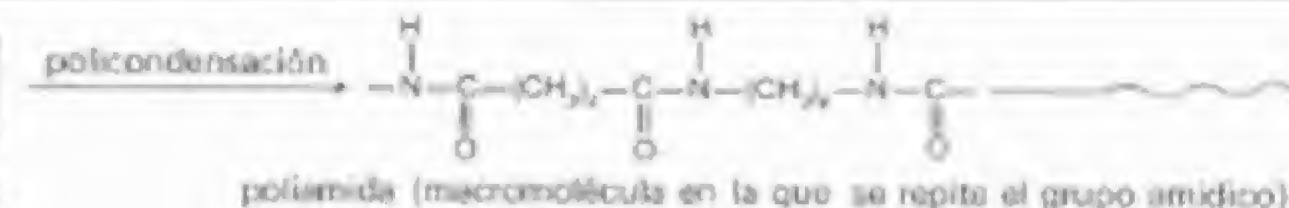
urea



SINTESIS DE LAS AMIDAS









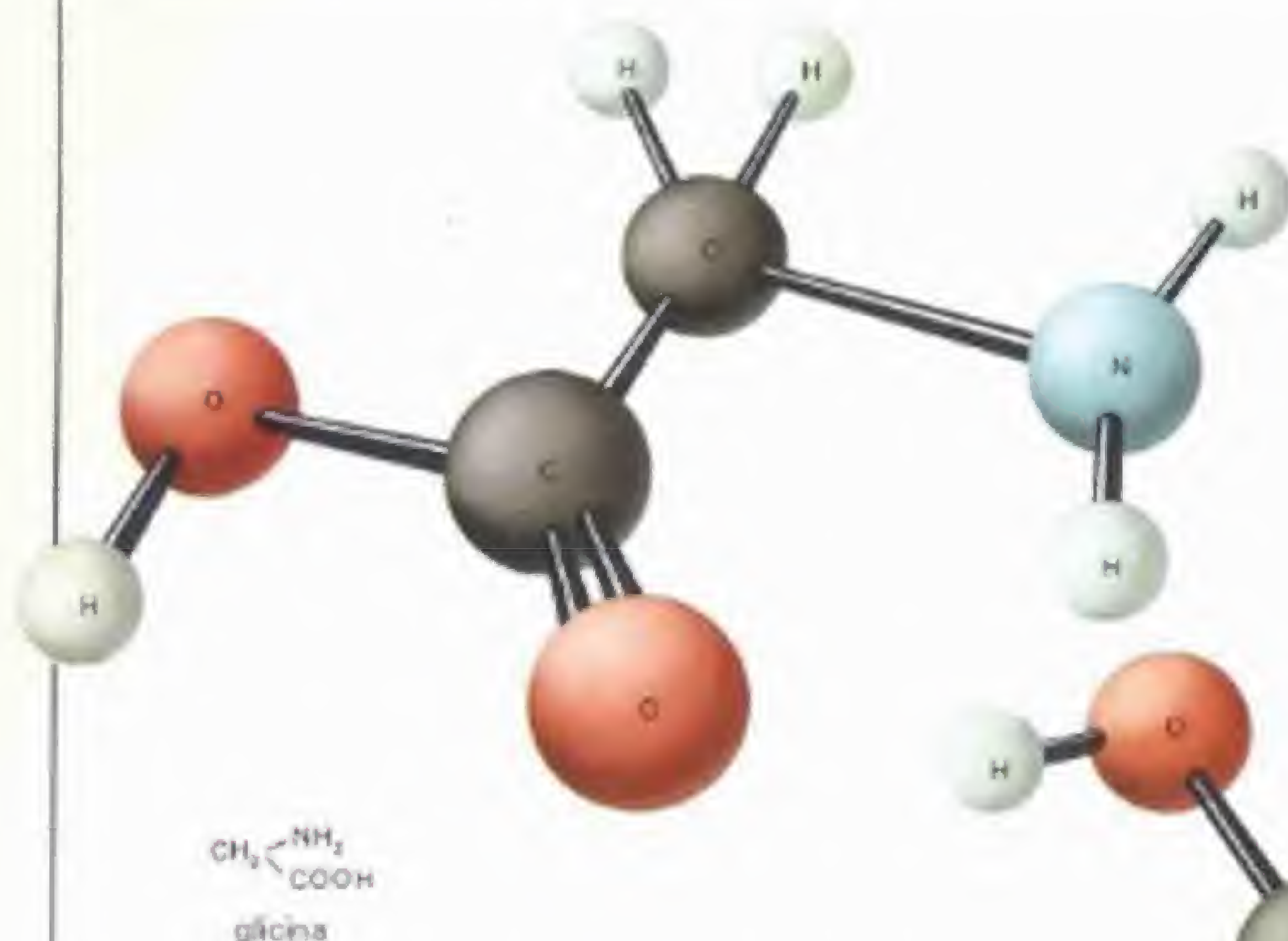
OBTENCION DEL NAILON 6,6

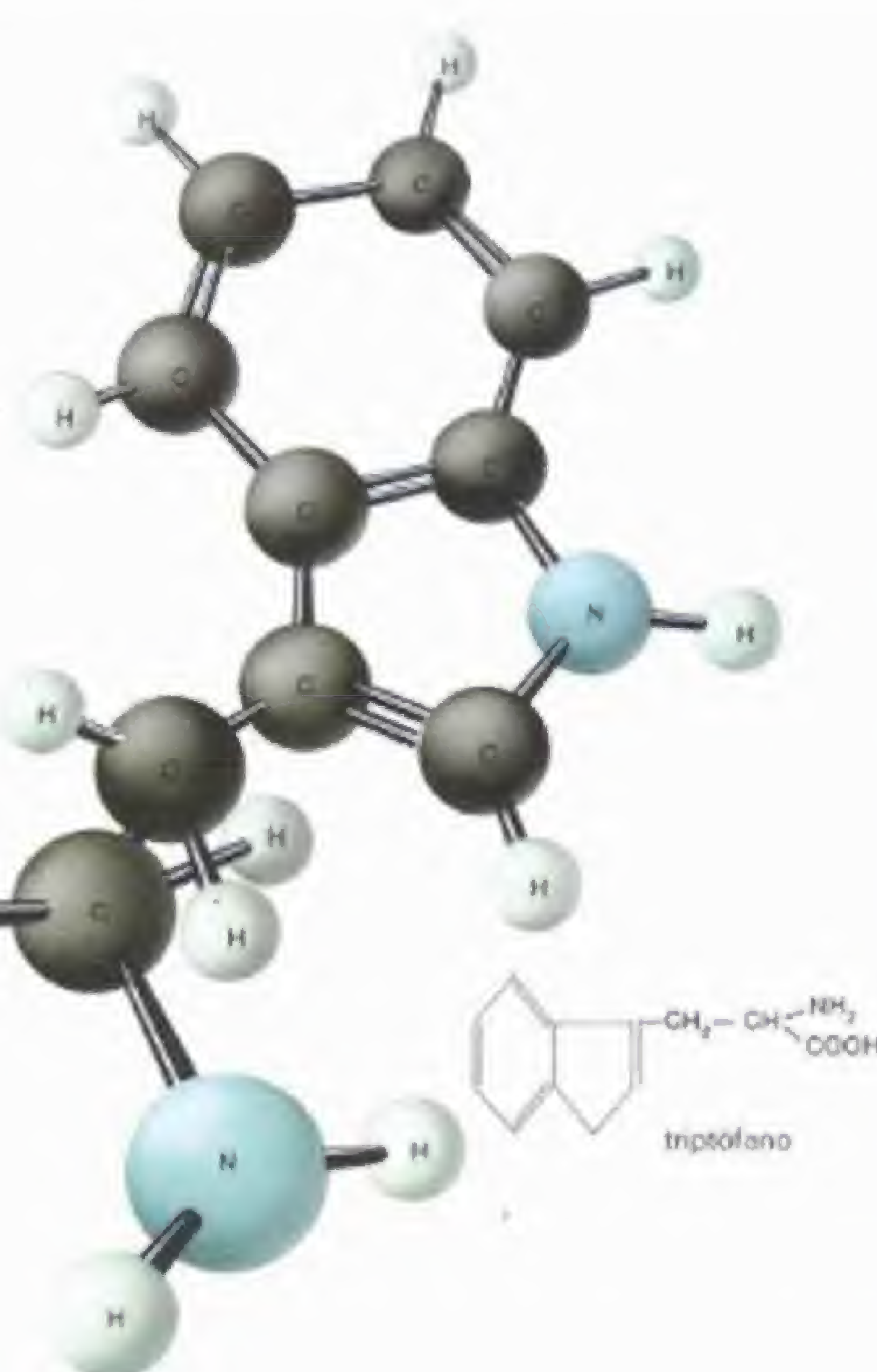
anilina $C_6H_5NH_2$

SINTESIS DE LA ANILINA



Aminoácidos

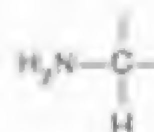




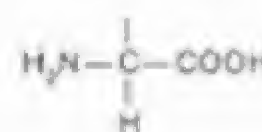
C = carbono
H = hidrógeno
N = nitrógeno
O = oxígeno



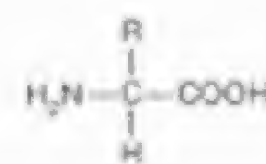
Un aminoácido tiene un átomo de carbono central C y una de sus cuatro valencias está unida a un átomo de hidrógeno H...



... una segunda valencia se une a un grupo amínico NH_2...



... una tercera valencia se une a un grupo de ácido COOH...



... y la cuarta se une al radical R, que varía en los distintos órdenes de aminoácidos.

Si el cuerpo humano es la casa de la mente, podemos decir que las proteínas (sustancias complejas que en nuestro organismo representan más del 50% de los componentes orgánicos y cerca del 14-18%, según la edad, del peso en seco del cuerpo) son los ladrillos con los que esa casa está construida. Las proteínas son los constituyentes esenciales del citoplasma y del núcleo de la célula y, precisamente por esta función, les corresponde una posición primordial en la estructura y en el ciclo biológico de todos los organismos vivientes.

A su vez las proteínas están constituidas por cadenas de *aminoácidos*. Si las proteínas son los ladrillos que forman el cuerpo, los aminoácidos representan los granos de arena y arcilla con los que están hechos los ladrillos. Se conocen más de 100 aminoácidos, que pueden encontrarse en estado libre, unidos en largas cadenas a otros aminoácidos para formar sustancias proteicas, o también combinados con otros compuestos químicos para formar ácidos nucleicos, lípidos y glúcidos. De todos estos aminoácidos, sólo unos 23 son los constituyentes básicos de las proteínas, lo que demuestra que son las sustancias más importantes para la vida.

Composición Los aminoácidos son compuestos orgánicos en los que las cuatro valencias del átomo de carbono se saturan por diferentes radicales químicos. Los cuatro radicales son: un *grupo amínico* NH_2; un átomo de hidrógeno H; un *grupo carboxílico* COOH y otro grupo R (radical alquílico).

Si se sitúa el átomo de carbono en el centro de un tetraedro (pirámide con cuatro caras triangulares idénticas), el grupo amínico, el átomo de hidrógeno, el grupo carboxílico y el otro grupo R que confiere a los aminoácidos sus características principales se encuentran en cada uno de los ángulos (vértices) de la pirámide. Un *grupo amínico* está formado por un átomo de nitrógeno y dos de hidrógeno, por lo que su fórmula es NH_2. Deriva de la molécula de amoníaco NH_3 por pérdida de un átomo de hidrógeno. El *grupo carboxílico* está compuesto por un átomo de carbono unido a un átomo de oxígeno y a un grupo hidróxilo OH. El otro grupo del aminoácido, R, que se une a la cuarta valencia del carbono, puede ser el radical de un enorme número de compuestos orgánicos, y precisamente por estas innumerables posibilidades de sustitución se obtienen los distintos aminoácidos.

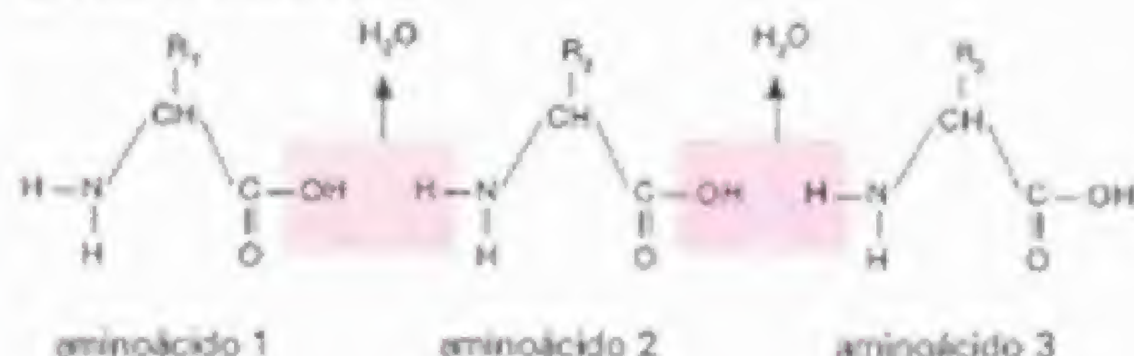
Enlaces peptídicos Los aminoácidos se pueden considerar como las unidades constitutivas de todas las sustancias proteicas. De hecho, son de naturaleza proteica los enzimas, sustancias que intervienen en las numerosas y continuas reacciones químicas de la materia viva. Además, sea como proteínas, sea como simples cadenas polipeptídicas, los aminoácidos se encuentran en la estructura de muchas hormonas, sustancias que tienen la función de regular los distintos procesos metabólicos del organismo.

Generalmente, las proteínas están formadas por largas cadenas de aminoácidos, constituidas por una macromolécula de configuración característica, en cada una de las cuales hay más de 50 pero menos de 8.000 unidades de aminoácidos. La hemoglobina, por ejemplo, está constituida por cuatro cadenas, dos de 141 aminoácidos y dos de 146. Las diferentes proteínas tienen distinto número y tipos de aminoácidos: por ejemplo, con la sustitución de un solo aminoácido en las dos cadenas de 146 unidades de la hemoglobina se obtiene la hemo-

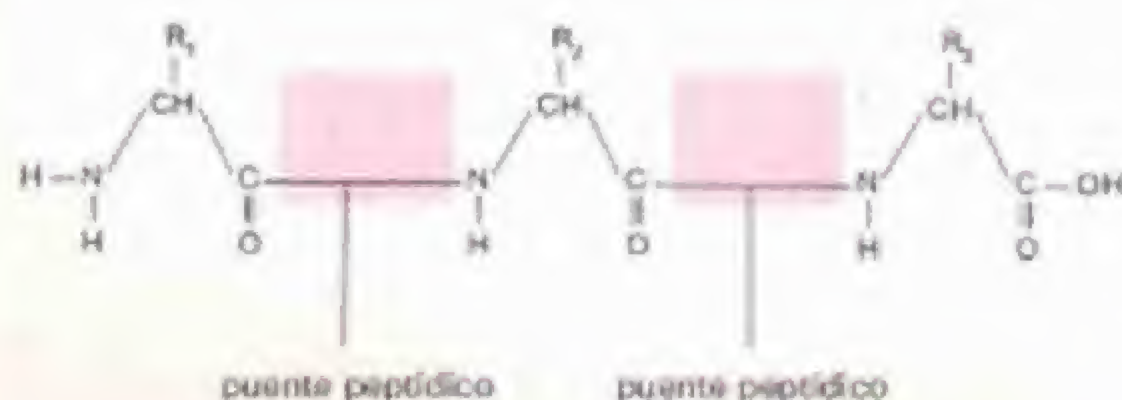
Caracterizados por la presencia de un grupo amínico NH_2 y uno ácido COOH, los aminoácidos están presentes en todas las células de los organismos vivos como unidades constitutivas de las proteínas; se encuentran como tales en otras sustancias biológicas de capital importancia: las hormonas y los enzimas. A la izquierda, fórmulas de la estructura espacial de dos aminoácidos: la *glicina* o *ácido aminoacético*, muy difundido en los tejidos animales y vegetales, y el *triptófano*, aminoácido esencial que contiene en su molécula un anillo bencénico. En la tabla de la derecha se recoge la composición —en porcentaje— en aminoácidos de algunas proteínas, como son: la queratina, que se encuentra sobre todo en las formaciones protectoras de los organismos animales; la miosina, componente fundamental del tejido muscular; la ovoalbúmina, contenida en la clara del huevo; la lactalbúmina, en el suero de la leche; y la caseína, el componente más proteico de la leche. Abajo, a la izquierda, esquema de la formación por condensación de un enlace peptídico entre moléculas de diversos aminoácidos en la reacción de síntesis de una proteína. A la derecha, fragmento de una molécula proteica.

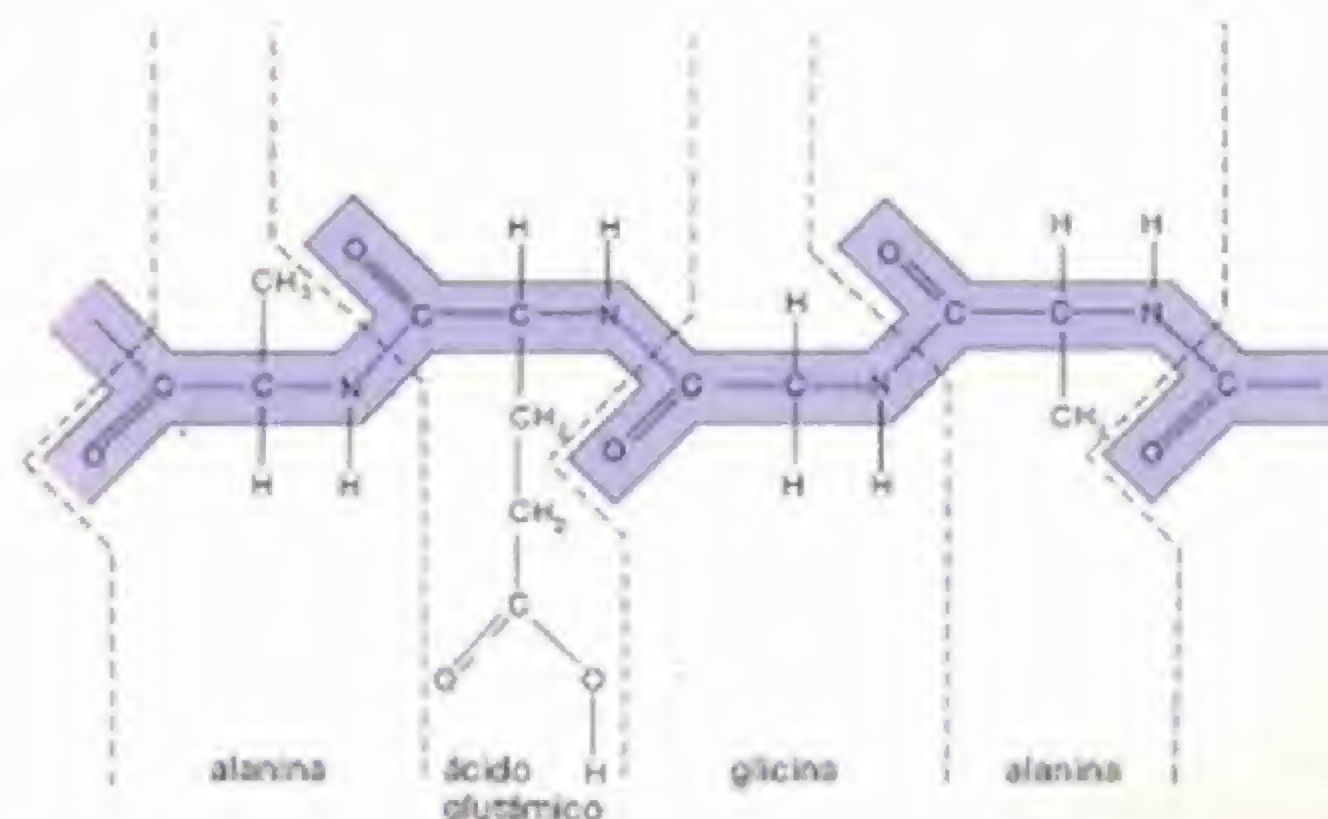
SIGLA	AMINOACIDOS		QUERATINA	MIOSINA	OVOALBUMINA	CASEINA	LACTALBUMINA
ARG	arginina	$NH=C(NH_2)-NH-(CH_2)_3-CH<^{NH_2}_{COOH}$	10,4	7,4	5,7	3,8	4,0
GLU	ácido glutámico	$HOOC-(CH_2)_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	14,1	22,1	16,5	21,8	18,0
ASP	ácido aspártico	$HOOC-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	6,5	8,9	9,3	6,0	11,0
GLY	glicina	$H_2C<^{NH_2}_{COOH}$	6,5	1,9	0	0,5	0,37
ALA	alanina	$CH_3-CH<^{NH_2}_{COOH}$	4,1	6,5	6,7	1,9	6,6
VAL	valina	$(CH_3)_2CH-CH<^{NH_2}_{COOH}$	4,6	2,6	7,0	7,9	6,6
LEU	leucina	$(CH_3)_2>CH-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	11,3	15,6	16,2	9,7	19,6
PHE	fenilalanina	$-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	3,6	4,3	7,7	3,9	5,0
SER	serina	$HO-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	10,0	4,3	8,1	5,8	4,9
THR	treonina	$CH_3-CH(HO)-CH<^{NH_2}_{COOH}$	6,4	5,1	4,0	4,0	6,0
CYS-CYS	cistina	$S-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$ / $S-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	11,9	1,5	1,8	0,4	4,0
TYR	tirosina	$HO-\ \ -CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	4,6	3,5	3,7	6,6	5,3
LYS	lisina	$NH_2-(CH_2)_4-CH<^{NH_2}_{COOH}$	2,7	11,9	6,3	6,3	10,5
MET	metionina	$CH_3S-CH_2-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	0,7	3,4	5,2	3,3	2,6
HIS	histidina	N, NH $-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	1,0	2,4	2,3	2,5	2,3
TRY	triptófano	NH $-CH_2-CH<^{NH_2}_{COOH}$	1,8	0,8	1,2	1,2	2,5

SINTESIS PROTEICA

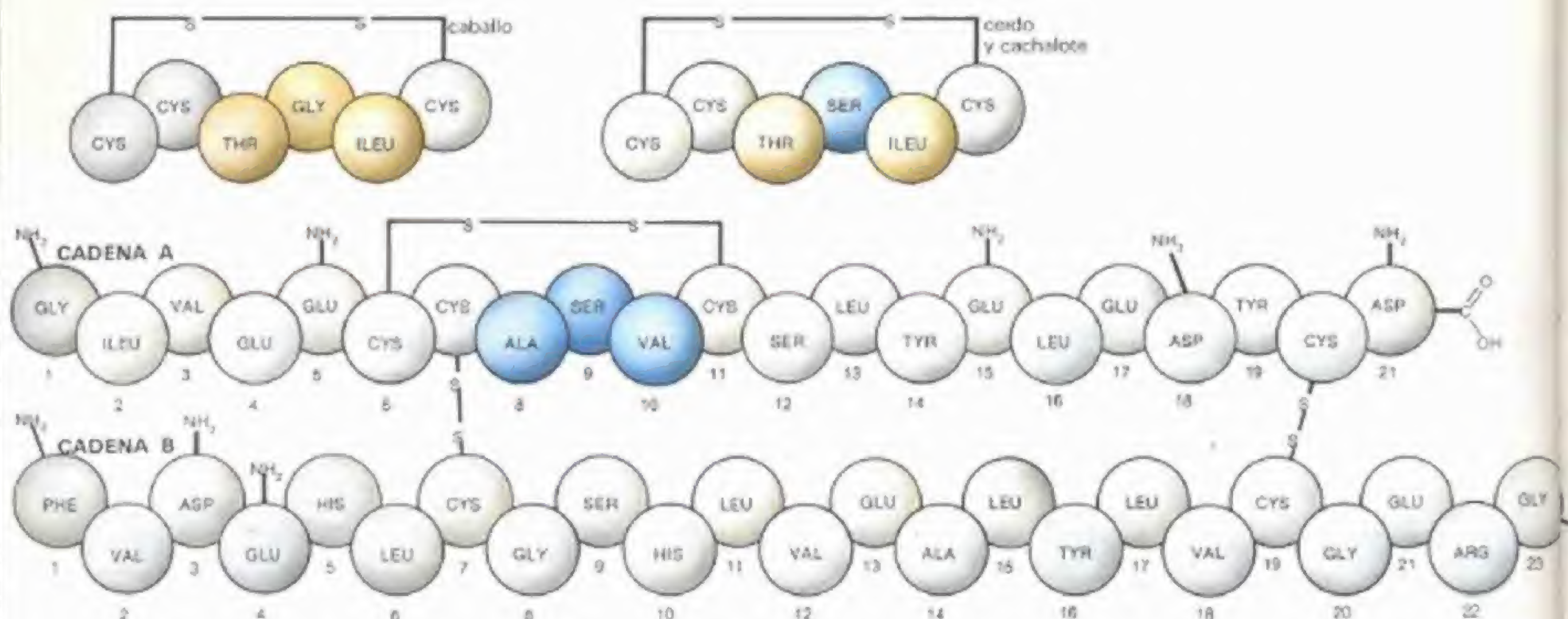


por condensación con eliminación de una molécula de agua se forma un puente peptídico





FRAGMENTO DE PROTEINA



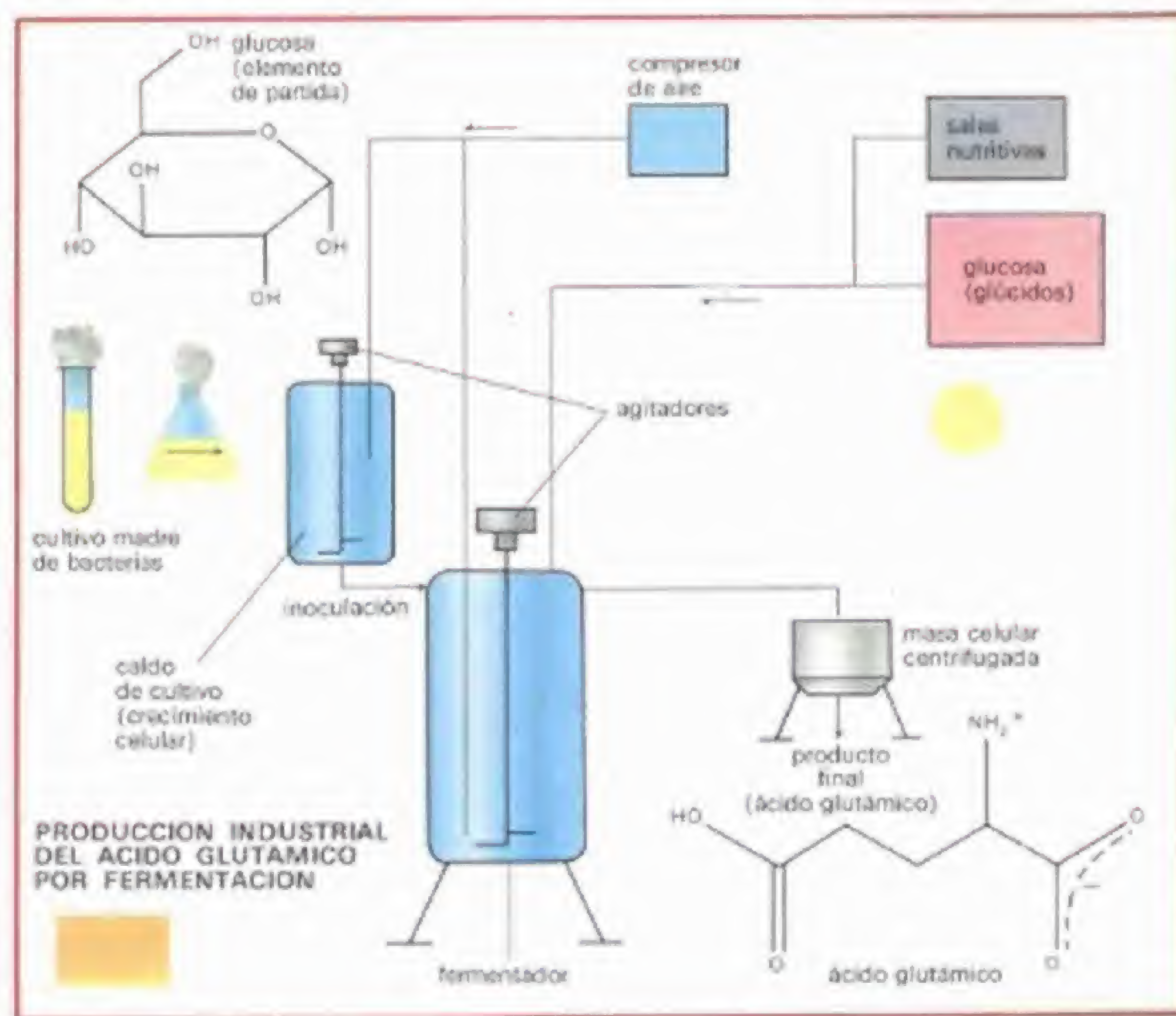
globina S, causante de la anemia falcémica, enfermedad molecular que puede ser fatal. El número de las posibles configuraciones de las proteínas es extraordinario: veinte aminoácidos se pueden combinar en una cadena de cien unidades de longitud en unas 10^{100} formas diferentes. Esta gran variedad de posibilidades de formar proteínas es uno de los factores de la enorme diversidad de la vida.

Las uniones de los aminoácidos en una proteína se llaman *enlaces peptídicos*; son el resultado de una interacción específica de tipo químico entre el grupo carboxílico (en el lado derecho) de un aminoácido y el grupo amínico (en el lado izquierdo) de un segundo aminoácido. En la reacción entre el H del grupo amínico NH_2 y el OH del grupo carboxílico se libera una molécula de agua H_2O y se forma un puente entre el carbono del grupo carboxílico y el nitrógeno del amínico. Esta unión entre el carbono y el nitrógeno es un enlace peptídico.

No es fácil obtener los enlaces peptídicos. Hace falta una gran cantidad de energía para que se unan el H y el OH, y que así se separen de los respectivos aminoácidos. En el organismo esta reacción se produce gracias a los *enzimas*, que son sustancias proteicas que sirven para *catalizar* reacciones químicas. Un catalizador es una sustancia que hace variar la velocidad de reacción, pero sin ser alterada por dicha reacción.

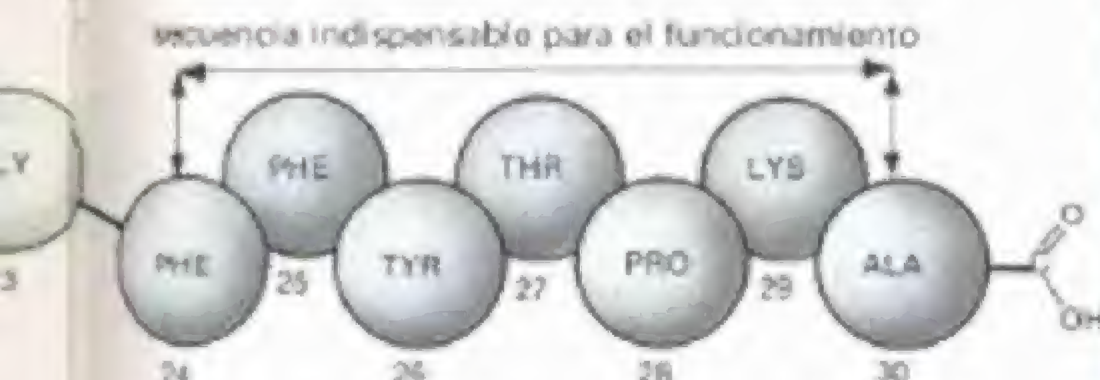
Aminoácidos esenciales Además de la función catalítica en el proceso de síntesis de las proteínas, los enzimas tienen también la misión de regular la formación de aminoácidos en el interior de nuestro organismo. Si los aminoácidos necesarios están ya presentes en los alimentos, no hay por qué crearlos de nuevo, pero si no lo están, los enzimas específicos —la pepsina del jugo gástrico, por ejemplo— desintegran las moléculas transformándolas en compuestos más simples que pueden ser utilizados para sintetizar nuevos aminoácidos. Pero existen algunas excepciones: ocho de los veinte aminoácidos de las proteínas —leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina— no pueden ser producidos por el organismo humano y se deben introducir a través de los alimentos. Estos ocho aminoácidos son llamados *esenciales* o fundamentales, aunque con esto no se pretende afirmar en modo alguno que los demás no lo sean, que los otros doce tengan una menor importancia para la vida.

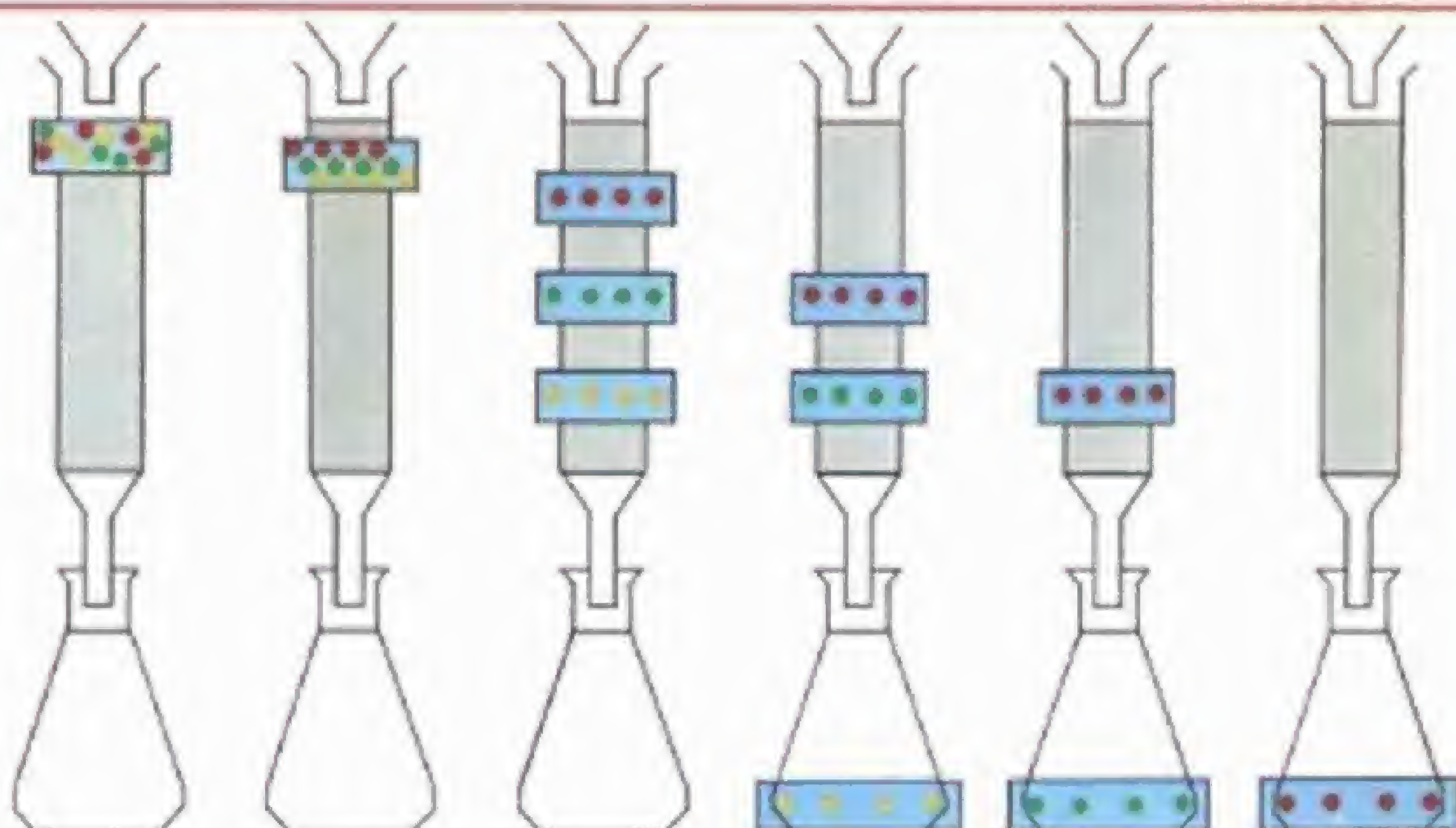
La mayor parte de las proteínas de origen animal contiene los ocho aminoácidos esenciales, por lo que el organismo los



El ácido glutámico, muy utilizado como aromatizante alimentario en forma de glutamato de sodio, se produce industrialmente en gran cantidad por fermentación de un elemento bastante común, la glucosa, gracias a la acción de ciertas bacterias. Al lado, se representa el esquema del proceso de obtención. Los progresos de la biotecnología quizá hagan posible en el futuro la síntesis de otros aminoácidos de gran interés en la alimentación.

La diferente secuencia de los aminoácidos en los residuos de una cadena polipeptídica caracteriza cada sustancia particular o las distintas formas de una misma sustancia. Un ejemplo es el de la insulina (al lado, molécula de la insulina de buey), hormona pancreática formada por dos cadenas, A y B, unidas por dos puentes de disulfuro. Un tercer puente disulfuro une los aminoácidos 6 y 11 de la cadena A. La insulina de caballo (detalle de la molécula en la parte superior izquierda) presenta como diferencias con la de buey una variación en los aminoácidos 8, 9 y 10. La del cachalote, igual a la del cerdo, difiere de la insulina de buey por una variación en los aminoácidos 8 y 10.





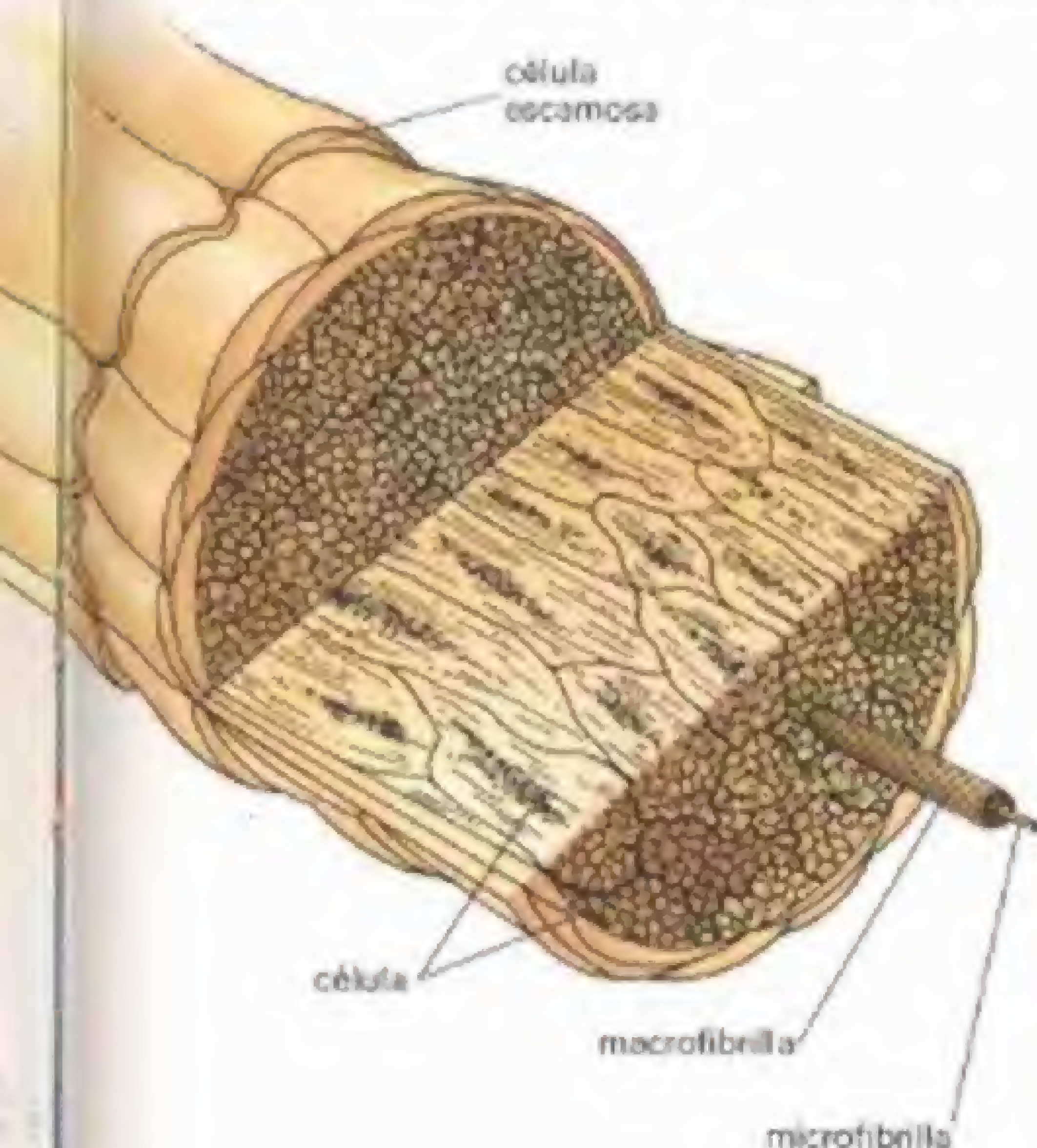
La cromatografía en columna es uno de los procedimientos usados comúnmente en la separación y reconocimiento de los aminoácidos aislados que constituyen una sustancia. En el esquema de arriba se ilustra la separación de una mezcla de tres aminoácidos representados por bolitas de distinto color. Se introduce la sustancia a analizar en una columna llena de almidón a la que se añade un disolvente (solución de agua y butano). Debido a que los tres aminoácidos presentan distinta afinidad por el disolvente, se separan y precipitan en el fondo aisladamente.

puede asimilar con bastante facilidad. Pero las plantas en general no contienen todos los aminoácidos esenciales, lo que significa que los vegetarianos deben asegurarse de que en su dieta estén presentes dichos aminoácidos. Una cantidad equilibrada de cereales y legumbres puede en un principio asegurar que se hallen los ocho aminoácidos esenciales.

La carencia de los aminoácidos esenciales tiene consecuencias muy graves para el organismo. Una privación muy prolongada puede provocar una enfermedad conocida por el nombre de *distrofia nutricional*, que es una forma de malnutrición incurable, que ataca sobre todo a los niños. Según las estimaciones de la ONU, en el mundo hay de 100 a 300 millones de niños de edad inferior a ocho años que padecen dicha distrofia, debido en gran parte a su dieta fundamentalmente vegetariana, que carece de los aminoácidos esenciales. La pobreza y no la ignorancia es por tanto la causa de la mayor parte de los casos de distrofia nutricional, y de modo especial en el caso de los niños de países subdesarrollados que proceden de familias que no pueden permitirse, por motivos que todos conocemos, no ya una dieta equilibrada sino, en la mayoría de los casos, ni siquiera un nivel de nutrición que les garantice la supervivencia.

Como demuestra todo lo dicho anteriormente, los aminoácidos desempeñan un papel clave en el mantenimiento de la vida. Sin ellos las proteínas esenciales para los procesos vitales no podrían ser sintetizadas, y también llegarían a faltar los enzimas que intervienen en la formación de los aminoácidos.

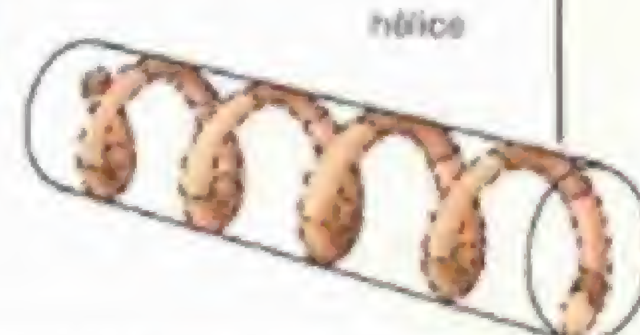
Véase **Catálisis y catalizadores; Proteínas**



La queratina es una proteína flexible que constituye el principal componente de la lana. Una fibra de lana (aquí abajo se representa un esquema de su estructura) está formada por un conjunto de células corticales de estructura filamentosa, las macrofibrillas, compuestas a su vez por microfibrillas. Estas están formadas por protofibrillas, cuya unidad estructural es una cadena de aminoácidos arrollada helicoidalmente.







Amoniaco

El amoniaco, a causa de su penetrante olor, se usó durante más de un siglo para reanimar en caso de desvanecimiento, aunque sea más conocido como un eficaz detergente doméstico de olor fuerte. El amoniaco, gas alcalino claro, más ligero que el aire, es el compuesto más conocido del nitrógeno e hidrógeno, de fórmula NH_4.

Durante la Edad Media el amoniaco acuoso (mezclado con agua) se obtenía de los cuernos y pezuñas de los bueyes, ganándose el nombre de "espíritu de cuerno de ciervo". Posteriormente el cloruro de amoniaco se obtenía calentando estiércol de camello o una mezcla de orina y sal. En el año 1774 Joseph Priestley produjo gas amoniacal, o "aire alcalino", calentando sal amoniacal con una base fuerte (un compuesto soluble en agua que reacciona con los ácidos para formar sales) y se produce amoniaco. Se puede también obtener añadiendo agua a nitruro metálico.

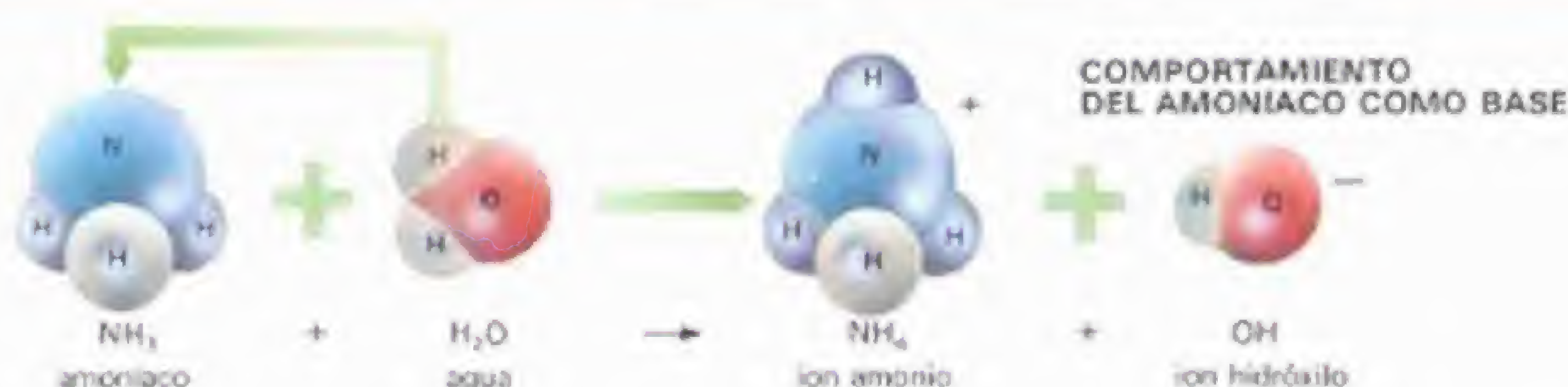
Usos del amoniaco El amoniaco y sus sales se utilizan actualmente en gran cantidad de procesos industriales y de productos comerciales:

1) *Fertilizantes*. Este es el principal uso que se hace del amoniaco y sus compuestos. Los fertilizantes, constituidos por nitrato amónico y producidos comercialmente, contienen varios aditivos, entre los que destacan el fosfato de calcio, la caliza, la dolomita y el potasio. El nitrógeno es el compo-

El amoniaco es el compuesto químico por el que necesariamente debe "pasar" el nitrógeno atmosférico para penetrar en los organismos biológicos de las plantas y ser incorporado a ellos en forma de aminoácidos, que, a su vez, forman parte de las proteínas, compuestos básicos para la vida animal. Al producirse la descomposición de animales y plantas, las proteínas se disgregan en moléculas de amoniaco que, por acción de las bacterias presentes en la tierra, se transforman en nitratos (nitrificación). Parte de éstos son de nuevo asimilados por las plantas y parte atacados por otras bacterias que los descomponen y hacen volver a la atmósfera el nitrógeno (desnitrificación); este ciclo se recoge en el esquema inferior. En sentido estrictamente químico, el amoniaco se comporta como una base: puesto en contacto con el agua, reacciona con ella quitándole un protón y formando un ion amonio y un ion hidróxilo, que hacen básica la solución.

CICLO DEL NITROGENO





sales amoniacales con sal. Tres años más tarde, Karl Wilhelm Scheele comprobó que el amoniaco contiene nitrógeno; pero fue C. L. Berthollet quien, por fin, en el 1785, determinó la fórmula química exacta.

Cómo se forma el amoniaco Es muy extraño encontrar amoniaco en la Naturaleza; uno de los lugares donde se puede encontrar es en las zonas volcánicas y en la lava al solidificarse. Como el amoniaco se produce durante la descomposición de materias orgánicas animales y vegetales, las sales de amoniaco se pueden encontrar en el suelo, en el agua del mar y en los líquidos de plantas y animales, como por ejemplo en la orina.

El 85% del amoniaco consumido en la actualidad se produce industrialmente y encuentra múltiples aplicaciones a nivel agrícola e industrial. El método más importante de producción es el proceso Haber, que combina el nitrógeno con el hidrógeno a alta temperatura y presión, utilizando un catalizador, agente que estimula la reacción química. El amoniaco se produce también combinando el nitrógeno con carburo de calcio y posteriormente con agua, o como subproducto de la destilación del carbón. Para el uso en laboratorio, se calienta una

nente principal de los fertilizantes, que suelen fabricarse en forma de pastillas para ser usadas en las máquinas agrícolas.

2) *Fabricación de explosivos*. El nitrato amónico se usa para fabricar explosivos de varios tipos, como la dinamita y las cargas explosivas para uso civil.

3) *Sustancias químicas y pinturas*. El cloruro amónico o sal de amonio se usa para galvanizar, estañar y soldar, y en la fabricación de algunos productos farmacéuticos y pinturas. De hecho, constituye un elemento clave en los fármacos antitós y en las pilas secas.

4) *Equipos de refrigeración y aire acondicionado*. El amoniaco gaseoso, exento de agua, se licua fácilmente a presión y se usa para la refrigeración y climatización de aire, ya que absorbe de éste gran cantidad de calor cuando se evapora, acelerando el proceso de refrigeración.

5) *Carburante*. El amoniaco es potencialmente un carburante, tanto para motores de combustión interna como para los de propulsión a chorro. El nitrato amónico mezclado con amoniaco líquido forma un compuesto combustible muy volátil.

6) *Proceso Ostwald*. El proceso toma su nombre de Ostwald, premio Nobel de Química y especializado en catalizadores, quien descubrió la forma de utilizar un catalizador para transformar el amoniaco en ácido nítrico, muy empleado en la producción de nitratos —importantes aditivos alimentarios— y de fertilizantes.

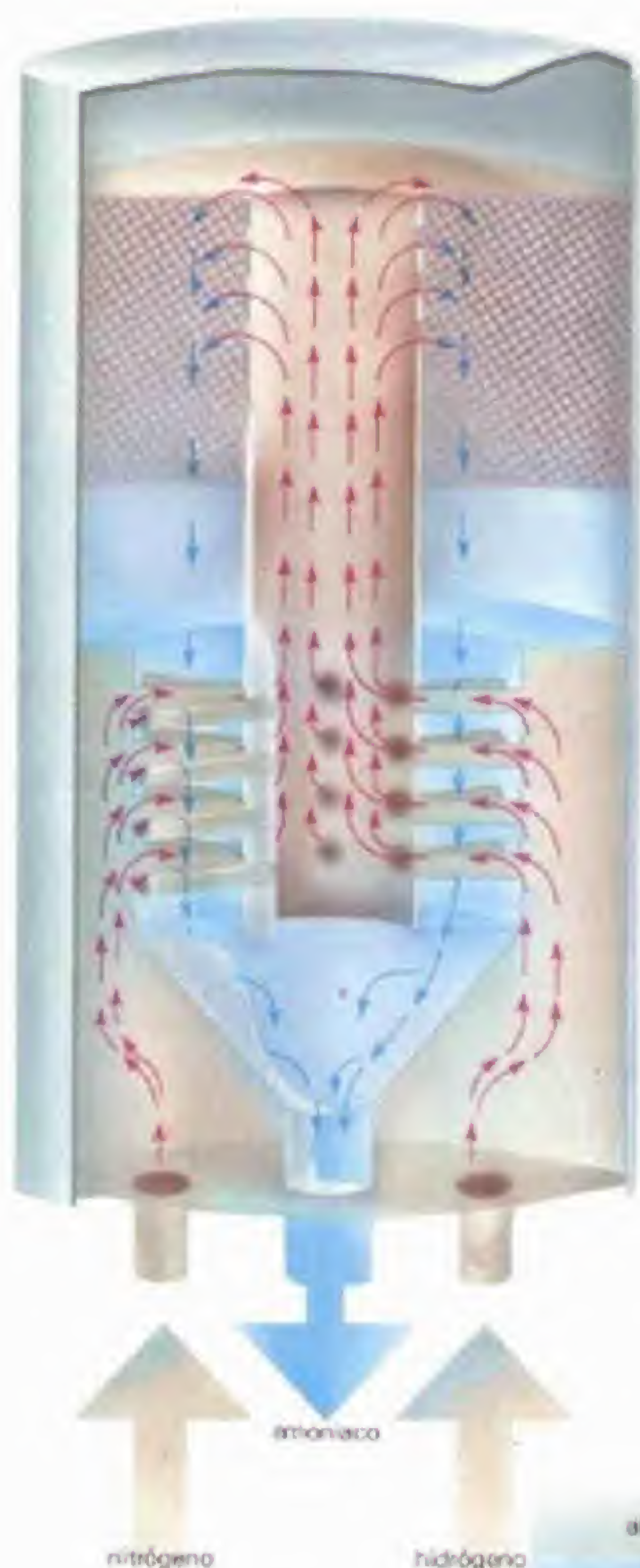
7) *Proceso Solvay*. Este proceso, inventado por el químico belga Ernest Solvay, utiliza el amoniaco para sintetizar el bicarbonato de sodio y es una de las conquistas más importantes del siglo XIX. Además, el amoniaco se usa para sintetizar las sulfamidas y depurar el agua almacenada en depósitos.

Propiedades químicas del amoniaco El amoniaco es muy soluble en agua y se licua fácilmente, bien enfriándolo hasta el punto normal de ebullición (—33,35 °C) o bien comprimiéndolo. La mayor parte de las reacciones químicas del amoniaco se puede clasificar en tres grupos:

1) *Reacciones de adición (amoniación)*. En estos procesos se obtiene un nuevo compuesto añadiendo a una molécula de amoniaco otra de un compuesto diferente. Por ejemplo, el amoniaco con los ácidos fuertes forma sales de amonio estables (amoniaco y ácido clorhídrico forman cloruro amónico).

2) *Reacciones de sustitución (amonólisis)*.





Arriba, serie de productos derivados del amoniaco y de gran importancia industrial. El amoniaco se obtiene por síntesis directa del nitrógeno (destilación del aire líquido) y del hidrógeno (proveniente de procesos petroquímicos). Los dos gases se introducen a presión en la "columna de catálisis" (al lado), donde se calientan al pasar a través de un intercambiador de calor —recorrido contra corriente por el gas de reacción caliente—, suben por el tubo central y llegan a una cámara donde está el catalizador que favorece la reacción. El amoniaco así formado desciende pasando nuevamente por el intercambiador de calor, donde se enfría. Abajo, esquema de la obtención de ácido nítrico por combustión de amoniaco y combinación posterior con agua de los óxidos de nitrógeno así obtenidos.

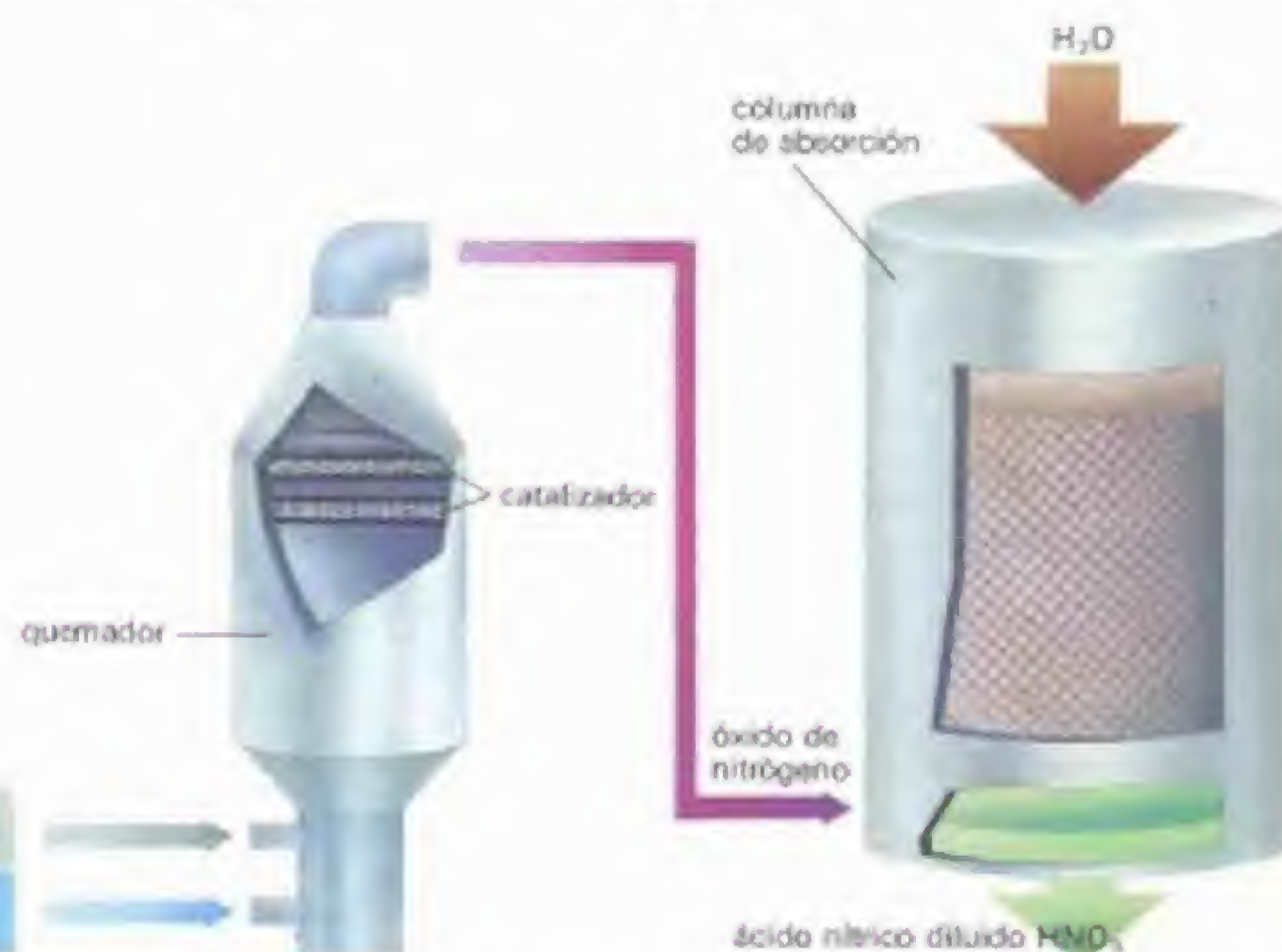
PROPIEDADES FISICAS DEL AMONIACO

punto de fusión	−77,74 °C
punto de ebullición	−33,35 °C
temperatura crítica	133,0 °C
densidad (líquido −30 °C)	0,5963
solubilidad en agua a 1 atm (0 °C)	47,0 % en peso
solubilidad en agua a 1 atm (20 °C)	33,1 % en peso
solubilidad en agua a 1 atm (30 °C)	28,0 % en peso

Esto sucede cuando uno o más átomos de hidrógeno de la molécula de amoniaco son sustituidos por otros átomos o por un grupo de ellos. Entre los productos de la amonólisis están las aminas, amidas y los nitruros.

3) *Reacciones de oxidación y reducción.* Ejemplos de estas reacciones son: combustión del amoniaco del oxígeno para formar nitrógeno, combinación del amoniaco con el oxígeno para formar agua y óxido de nitrógeno, reducción por el amoniaco de los óxidos metálicos calentados produciendo nitrógeno y el metal puro.

Véase **Aminas y amidas; Aminoácidos; Catálisis y catalizadores; Fertilizantes; Nitrógeno; Proteínas**



Amortiguador

Los amortiguadores no sólo ofrecen la posibilidad de viajar cómodamente, sino que también constituyen un elemento importante en la seguridad de los vehículos. Sin ellos, las sacudidas y saltos debidos a los baches de la carretera se transmitirían directamente a la carrocería del automóvil, dificultando al conductor el control del vehículo.

Generalmente, las ruedas están fijadas a la estructura del automóvil mediante cuatro muelles helicoidales construidos con acero de gran resistencia. En casi todos los modelos de automóviles anteriores a los años treinta se montaban muelles de ballesta (formados por una serie de "hojas" de acero templado) y muchos constructores los siguen utilizando hoy en día. Actualmente se están introduciendo muelles no metálicos, compuestos de material plástico reforzado, cuyo uso tiene como principal finalidad la de reducir el peso del vehículo. En otros tipos de suspensiones de automóviles se aprovecha la resistencia a la torsión de varillas de acero especial, llamadas *barras de torsión*; pero estos dispositivos tienen siempre la misma función: proteger al vehículo y al conductor del efecto de las deformaciones del piso. Dentro de unos determinados límites, el acero es muy elástico; incluso más que la goma. Esto no quiere decir que el acero sea muy fácil de doblar, sino todo lo contrario; lo que ocurre es que una vez doblado no permanece estático sino que presenta una gran tendencia a recobrar su posición inicial.

Pero la gran energía que el acero acumula cuando es doblado crea un problema, ya que si se le deja libre no sólo retorna a su posición inicial sino que la supera volviendo atrás seguidamente y continuando su vibración durante algún tiempo. Si los automóviles no estuvieran equipados con amortiguadores, al pasar un pequeño obstáculo la carrocería saltaría como esos juguetes similares a zancos con muelles. El sistema de dirección se basa en un contacto estable entre las ruedas y la carretera, y durante el recorrido ascendente de los muelles tal contacto se reduce momentáneamente y, por consiguiente, decrece el poder direccional del volante.

Los amortiguadores están a menudo montados dentro del correspondiente muelle helicoidal (coaxiales), pero siempre deben estar dispuestos en paralelo con cualquier tipo de muelle, retrasando el movimiento de subida y bajada de la rueda. Está claro que no son los amortiguadores los que absorben las sacudidas debidas a los baches; son los muelles los que cumplen esta función. Los amortiguadores sólo frenan el efecto del golpe y reducen las vibraciones verticales de los muelles. Quizá es por eso por lo que en cualquier parte del mundo son conocidos como "amortiguadores", excepto en Estados Unidos, donde se les llama literalmente "absorbedores de golpes".

La mayoría de los amortiguadores son *hidráulicos*; eso quiere decir que se basan en el principio de la incompresibilidad de los líquidos. Si tomamos un tubo cerrado en una de sus extremidades, lo llenamos con una columna de agua y luego intentamos insertar en la otra extremidad una varilla de diámetro un poco más pequeño, vemos que el agua no "cede" y no absorbe la fuerza de nuestro empuje.

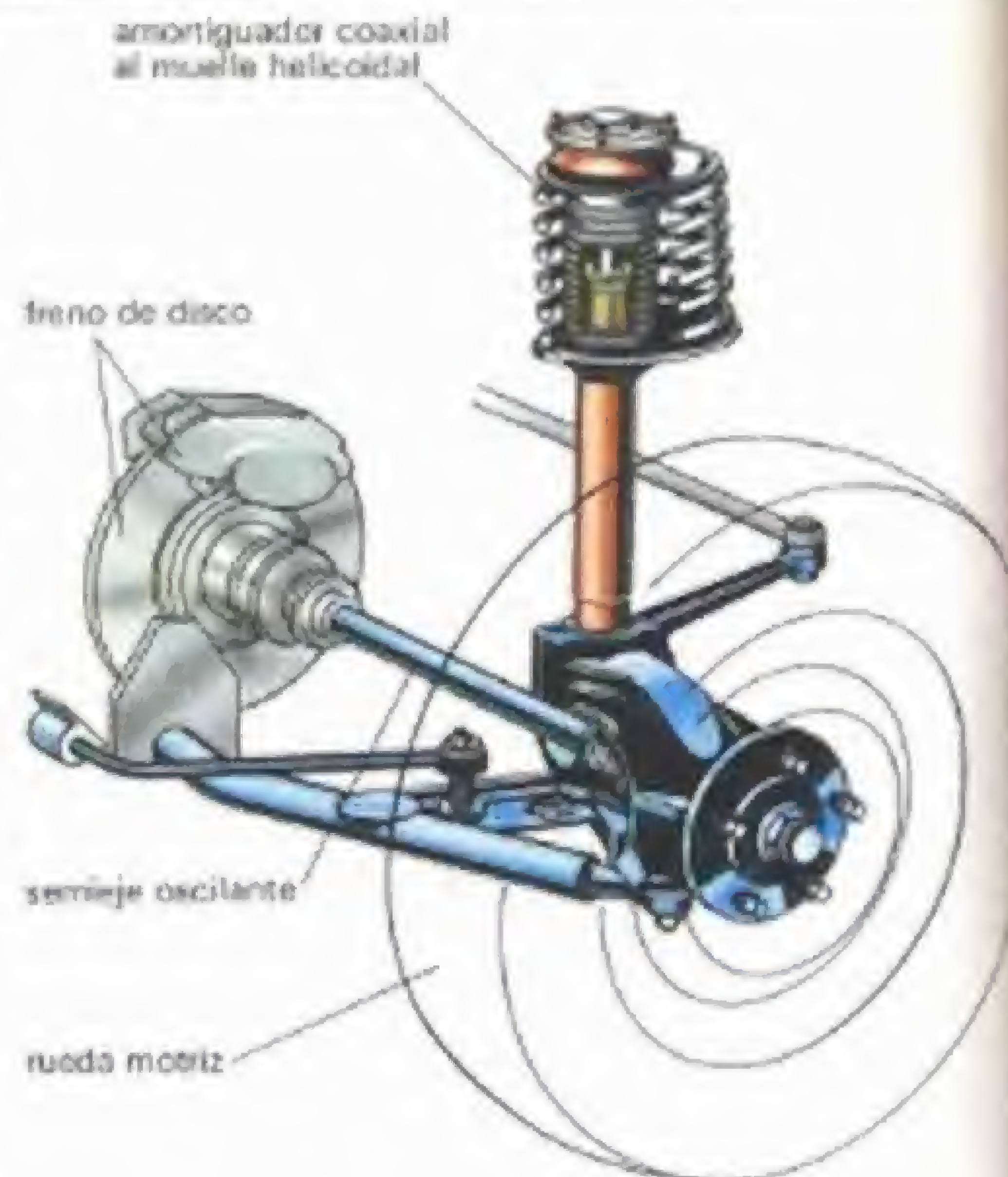
Sin embargo, si practicamos un orificio en el centro de la varilla, podremos introducirla en el tubo, pero solamente lo lograremos a una velocidad proporcional a la del agua que sale por el agujero. Cuanto mayor sea el orificio, con mayor velocidad podremos introducir la varilla en el tubo. Si, por el contrario, el taladro es demasiado pequeño, costará mucho introducirla.

El amortiguador "aprovecha", por lo tanto, la resistencia que ofrecen los líquidos cuando pasan por orificios de pequeñas dimensiones. Está constituido por una pequeña unidad compuesta de un *émbolo*, *pistón* y *cilindro*. El émbolo es un "tapón" metálico que puede moverse hacia arriba y hacia abajo dentro de una cámara de sección circular, llamada *cilindro*, que corresponde al tubo que hemos mencionado en el ejemplo.

El amortiguador en su conjunto está formado por un cilindro, cerrado en una extremidad, dentro del cual se desliza un émbolo conectado a un vástago que atraviesa la tapa situada en la otra extremidad.

El vástago del émbolo tiene en su extremidad un tubo protector para mantenerlo limpio juntamente con la tapa en la cual se desplaza. Cuando las dos partes se desplazan hacia adentro o hacia afuera (como en un antiguo catalejo), el émbolo se mueve adelante o atrás en el cilindro. Sin embargo, este cilindro está lleno de aceite (no de agua, como en el ejemplo) y en el émbolo se han practicado pequeños orificios a través de los cuales puede fluir el aceite. Esto obstaculiza el movimiento "de telescopio" del émbolo, siendo precisamente esta resistencia la que amortigua las oscilaciones del muelle.

En cada extremidad del amortiguador hay un casquillo que permite fijarlo al automóvil. Se coloca generalmente dentro de la espiral o al lado de cualquier tipo de muelle y, como el muelle mismo, se fija una de sus extremidades al bastidor o a la



carrocería y la otra al eje de las ruedas.

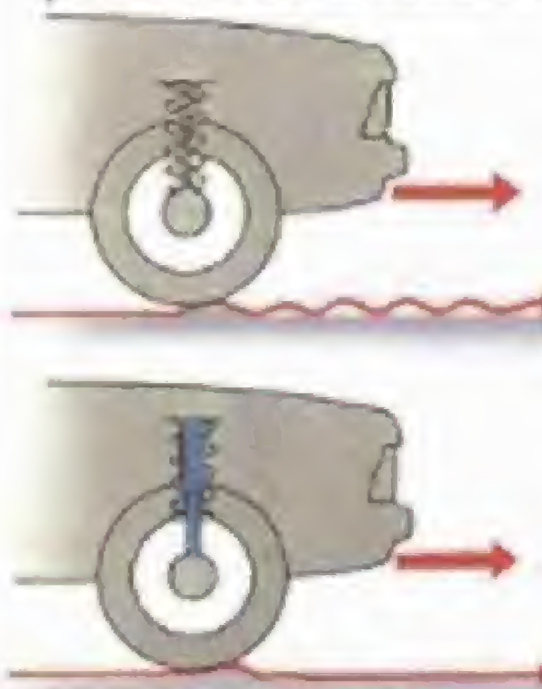
Cuando la rueda tropieza con un obstáculo, el muelle se comprime rápidamente, se aplasta o es sometido a torsión, según el tipo, y a continuación el amortiguador retarda su velocidad de reacción.

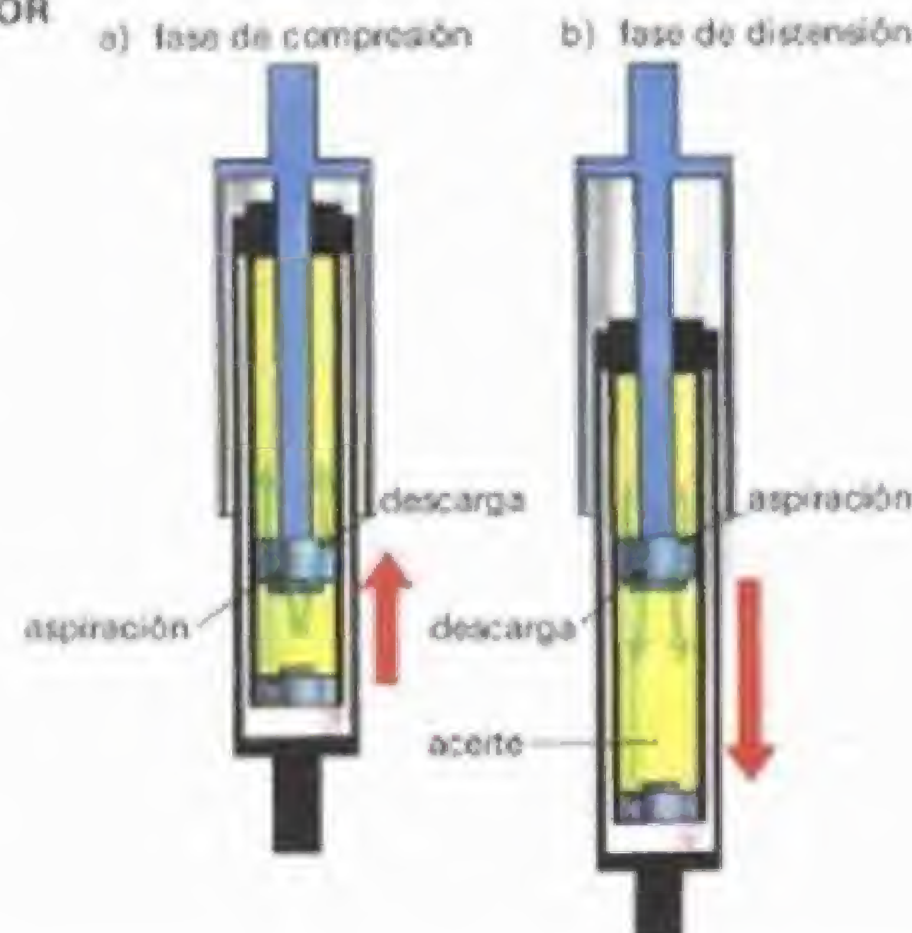
Cuando el muelle empieza a moverse en sentido contrario, el amortiguador retrasa su movimiento. Un buen amortiguador debe poder frenar el movimiento del muelle tan rápidamente que éste pueda moverse hacia adelante y hacia atrás solamente una vez.

Los primeros amortiguadores se proyectaron de tal forma que, si llegaba a faltar el aceite o si se desgastaban los émbolos, pudieran desmontarse, ser reparados y rellenados nuevamente. Sin embargo, los amor-

Abajo, a la izquierda, un muelle de la suspensión sin y con amortiguador. En 1) no se produce la absorción de la sacudida en el bache, sino una serie de oscilaciones. A la derecha, a) en la compresión, el amortiguador se acorta acompañando al muelle en el aplastamiento; b) en la distensión, el amortiguador frena el efecto elástico del muelle (2).

PARA QUE SIRVE EL AMORTIGUADOR





fijación superior a la carrocería

vástago

tapa "porta-retén"

muelle "prensa-retén"

casquillo guía del vástago

taladro capilar para purga de burbujas gaseosas

protector

tope elástico limitador del recorrido

disco limitador del levantamiento de la válvula de aspiración

válvula de aspiración

émbolo

muelle en estrella para la válvula

muelle de la válvula de rebote

fase de compresión (descenso del émbolo con aspiración de aceite desde la cámara inferior)

cilindro exterior del depósito

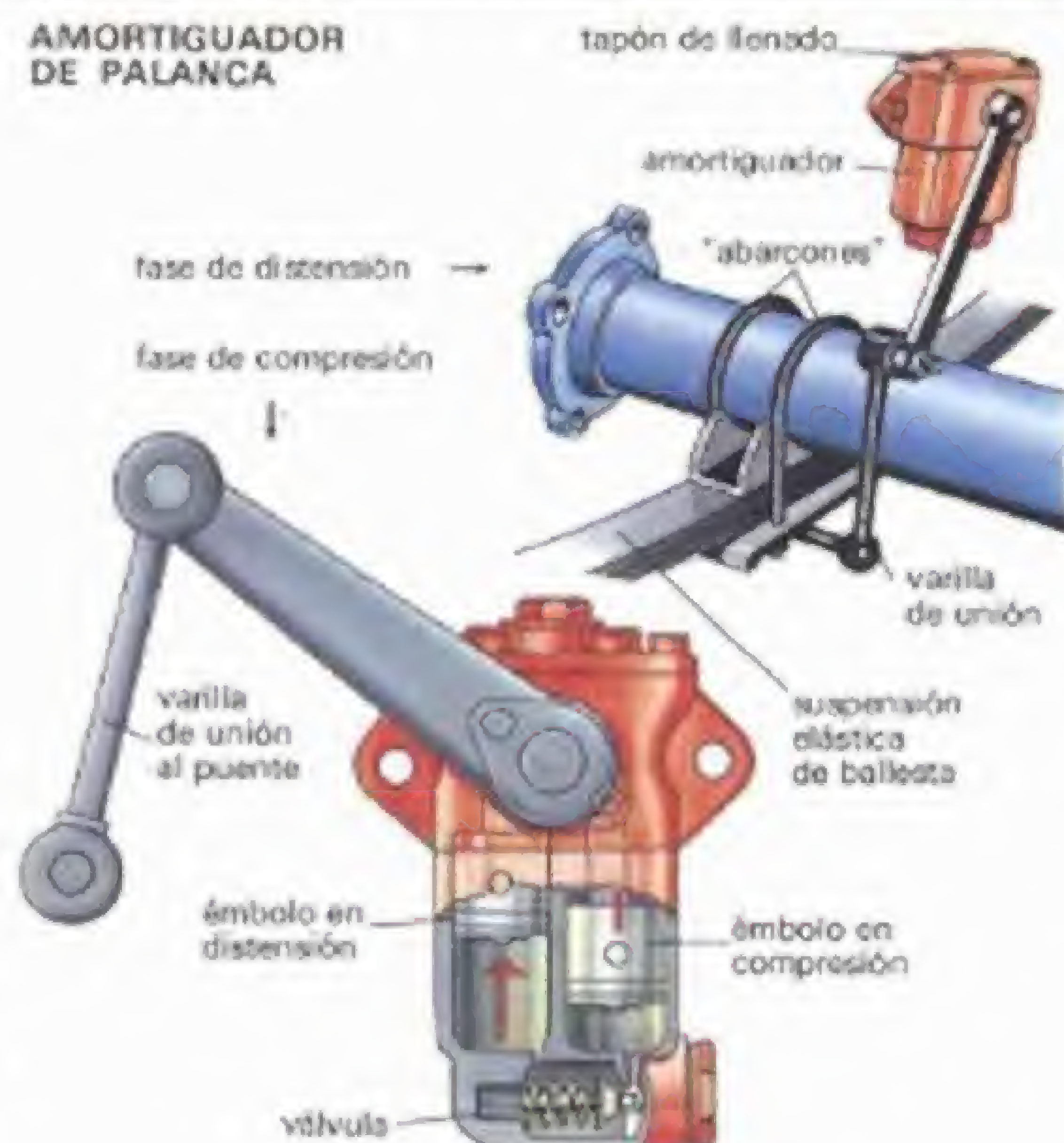
cilindro interior

anillo para sujeción al brazo inferior oscilante

tapón inferior

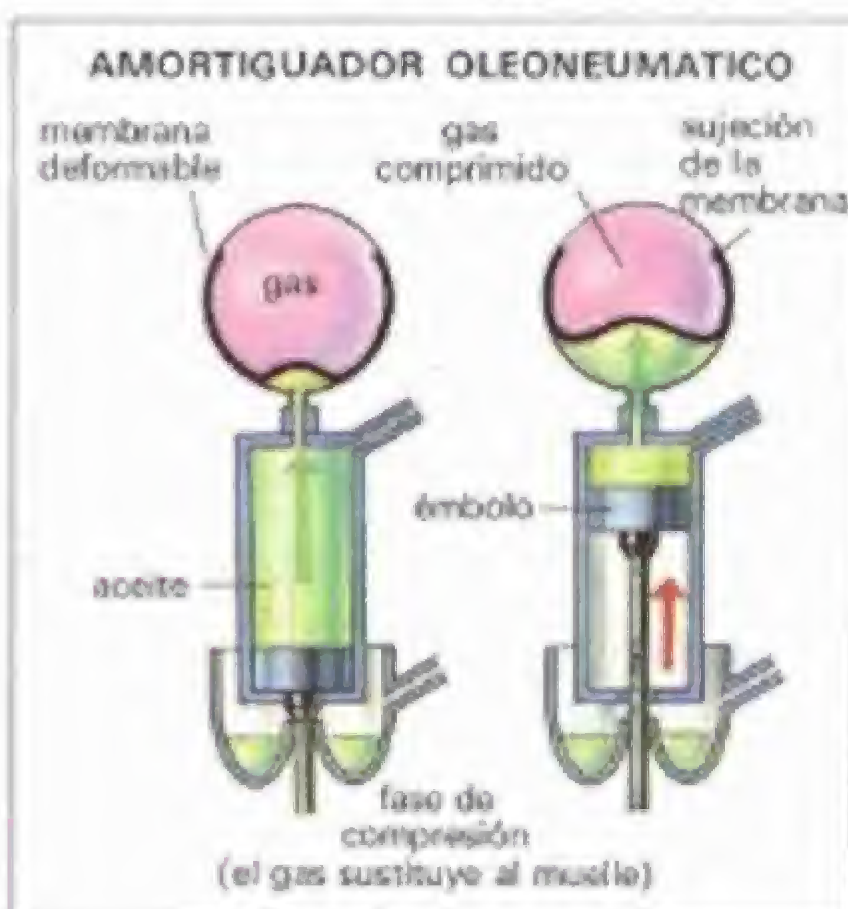
casquillo elástico

SECCION DE UN MODERNO AMORTIGUADOR TELESCOPICO



En algunas aplicaciones, como puede verse al lado, no se dispone de espacio suficiente para montar un amortiguador de émbolo lineal. Sin embargo, ese mecanismo puede ser alojado recurriendo a la solución del llamado "amortiguador de palanca". Este está constituido por un cuerpo de dos cilindros y dos émbolos cortos que, accionados por la rotación de la palanca, suben y bajan provocando el paso del aceite de una cámara a la otra a través de un pequeño orificio cuyo paso puede abrirse mediante una válvula. La longitud de la carrera de los émbolos es por lo tanto más pequeña (ya que está repartida en dos) y la construcción es más compacta.

En la página anterior, esquema de montaje de un amortiguador telescópico en un automóvil: está colocado prácticamente coaxial con el muelle helicoidal. Esta disposición economiza algún espacio. El desplazamiento que tenemos con este sistema permite una conducción segura en terreno accidentado, manteniéndose muy confortable en todo tipo de carretera. A la izquierda, amortiguador telescópico seccionado, en el que se aprecian los mecanismos de funcionamiento. Abajo, amortiguadores "oleoneumáticos", que con un mismo dispositivo cumplen tanto la función de muelle (elemento elástico) como la de amortiguador (elemento plástico). En este caso el aire se comporta como muelle ideal.



tiguadores modernos están sellados y deben ser sustituidos cuando se averían (aunque existen algunos que pueden ser recargados). Los modelos más recientes tienen un sistema de válvulas y cilindros más complejo para aumentar la eficacia y la suavidad de su funcionamiento.

Hoy se puede escoger entre una vasta gama de amortiguadores de varios modelos: para grandes esfuerzos y sobrecargas, deportivos, regulables, autorregulables y otros. Existen algunos que hasta crean automáticamente una cámara de aire que funciona como muelle auxiliar y "nivela" el automóvil para adaptarlo a las variaciones de carga; en otros pueden modificarse las características mediante un bombeo manual. Debería escogerse el tipo de amortiguador según las características del automóvil en el que va a ser instalado y en base al tipo de conducción a que deba someterse.

Igual que cualquier otra parte móvil del vehículo, los amortiguadores están sujetos a desgaste. Sin embargo, este se produce gradualmente y los conductores van acostumbrándose de tal modo al empeoramiento de las condiciones de conducción y de control, que a menudo no se dan cuenta de que se está produciendo este defecto. Afortunadamente, el control del estado de desgaste de los amortiguadores es bastante sencillo. Es suficiente con subirse al parachoques y saltar al suelo rápidamente: el coche debe levantarse, bajar y pararse. Si continúa moviéndose hacia arriba y hacia abajo, significa que ya hay que cambiar los amortiguadores. Un amortiguador, normalmente, debe sustituirse a los 40.000 km más o menos. Algunos, sin embargo, son reparables, pudiendo restablecerse en ellos el grado original de funcionamiento. De todas formas hay que sustituirlos por parejas: si se cambia el amortiguador de una rueda, hay que hacer lo mismo con el de la rueda del lado opuesto del vehículo.

Véase **Automóvil, carrocería y suspensión**

Analgésicos

El término *analgésico* sirve para designar cualquier sustancia capaz de eliminar el dolor. Se trata de productos que abarcan desde las sustancias químicas que no provocan dependencia, como la aspirina, hasta los fármacos estupefacientes que originan una intensa dependencia psicológica y fisiológica, como la morfina. Todos los analgésicos se caracterizan por la capacidad de aliviar el dolor sin inducir a un estado de *anestesia* o de pérdida del conocimiento. Los analgésicos menores o débiles, que comprenden una amplia gama de productos antidolorosos, son también útiles para bajar la fiebre (son, por lo tanto, *antipiréticos*) y para disminuir la inflamación. Habitualmente estos medicamentos se administran por vía oral y se absorben a través del tracto gastrointestinal. Después son metabolizados (esto es, introducidos en los procesos bioquímicos del organismo) por el hígado y eliminados con la orina. Se piensa que este tipo de analgésicos actúa contra el dolor bloqueando la generación de los impulsos dolorosos a nivel de los *quimiorreceptores*, células que reaccionan a las modificaciones químicas ambientales emitiendo impulsos nerviosos.

Los analgésicos mayores o fuertes, del tipo de los estupefacientes, no provocan reducción de la fiebre ni disminuyen la inflamación en los tejidos. Estas sustancias se utilizan para aliviar los dolores incoercibles, ya que su lugar de acción es el sistema nervioso central y tienen capacidad para elevar el umbral del dolor.

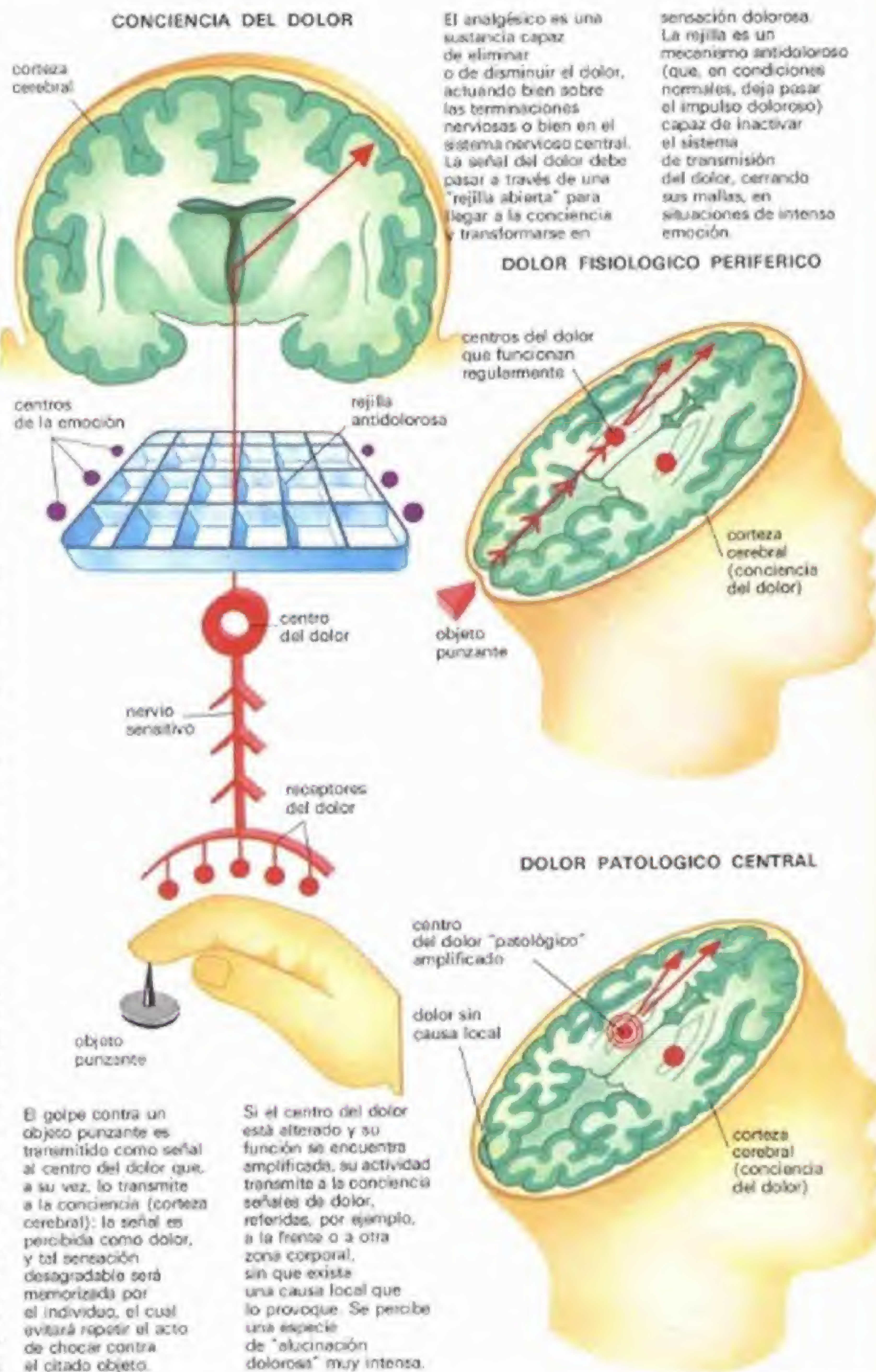
Los analgésicos fuertes no son bien absorbidos a través del tracto gastrointestinal y deben ser, por tanto, inyectados directamente en el torrente sanguíneo, desde donde son completa y rápidamente metabolizados. Los analgésicos fuertes tienden a inducir un estado de somnolencia y a afectar un aspecto importante del dolor, esto es, la forma subjetiva con que cada individuo lo percibe. La cualidad del dolor percibido puede ser, en efecto, influida directamente por el recuerdo de experiencias dolorosas precedentes y por la situación emocional. Numerosos analgésicos fuertes pueden transformar un estado de ánimo ansioso en un estado eufórico y provocar una situación de leve *amnesia*.

Origen de las sustancias analgésicas

Los analgésicos débiles fueron obtenidos por primera vez de la corteza del sauce: el uso de la corteza del sauce para aliviar el dolor es una práctica que se remonta a la Antigüedad. Su introducción en la práctica médica oficial, como alternativa a la quinina, que posee propiedades analgésicas puras, tiene lugar en 1763. La quinina se obtiene, a su vez, de la corteza de un grupo de árboles y arbustos del género *Cinchona*. La corteza del sauce atrajo sobre sí la atención como sustituto de la quinina, ya sea porque emanaba un olor semejante, o bien porque era mucho más abundante y, por lo tanto, menos costosa. Debe sus propiedades analgésicas a una sustancia llamada *salicina*, utilizada en la preparación del alcohol salicílico, que a partir de 1874 ha sido preparado y utilizado como remedio contra el dolor. En 1889, las sustancias específicas que forman parte de la composición de la *aspirina* fueron obtenidas accidentalmente partiendo del alcohol salicílico; se descubrió que poseían además una capacidad antidolorosa superior. Tras la introducción de la aspirina se han sintetizado numerosos tipos de analgésicos.

En el transcurso del siglo XX, los analgésicos débiles han modificado radicalmente las modalidades de respuesta a los dolores de intensidad ligera. Se puede tomar una aspirina para cualquier sensación dolorosa de una gravedad no tan grande como para requerir la intervención del médico. Las cifras que alcanzan las ventas de aspirina demuestran que es un producto de primera necesidad.

Pero si bien este tipo de analgésicos rinde un servicio de inestimable valor, no está libre, no obstante, de riesgos potenciales. El uso muy continuado de aspirina o



una dosis excesiva de este medicamento pueden producir náuseas, zumbido de oídos, hemorragias gástricas y diarrea. Las dosis excesivas y reiteradas pueden provocar una alteración de las sustancias químicas salinas contenidas en los líquidos corporales, lo que a su vez puede conducir a una grave alteración del centro respiratorio, incluso a una parada respiratoria.

Los analgésicos fuertes Los analgésicos fuertes derivan del opio contenido en la adormidera. El primer analgésico de tipo narcótico fue la *morfina*, preparada por vez primera en 1803. Desde entonces se ha desarrollado una amplia gama de sustancias sintéticas y semisintéticas, con métodos de preparación, usos y efectos análogos. Uno de los riesgos de la administración en cantidades excesivas de analgésicos de tipo narcótico es la grave depresión de los centros respiratorios del encéfalo. Del nivel de depresión depende la tolerancia a la sustancia, la cual está determinada por la necesidad de aumentar la dósis para obtener los mismos efectos. La tolerancia se acompaña de dependencia física y psicológica. Algunas sustancias narcóticas más débiles son usadas con objeto de deshabituar al sujeto adicto a los narcóticos potentes: es el caso de la *metadona* para tratar la dependencia a la heroína.

Los analgésicos débiles Para comprender las diferencias entre los analgésicos más difundidos es preciso explicar los casos en que están indicados y los efectos colaterales de cada grupo.

El grupo de los *salicilatos* comprende, entre otros, la aspirina. Estos fármacos se comercializan bien en forma pura o bien asociados con otros analgésicos o sustancias tamponantes, cuya función es neutralizar la acidez de los salicilatos. Pueden incluso asociarse con estimulantes del tipo de la cafeína (las sustancias utilizadas antigüamente contra el dolor de cabeza hacían gran uso de la cafeína). Los salicilatos son muy útiles en el tratamiento de la cefalea hemicránea, de los dolores musculares y de la artritis. También colaboran en la reducción de la inflamación y el dolor articulares consecuentes a la fiebre reumática.

Otro tipo de sustancias, el de los *derivados de la anilina*, utilizados primeramente para bajar la fiebre, ha demostrado ser analgésico óptimo. Los productos principales de este grupo, la *acetofenetidina* y la *fenacetina*, se suelen asociar con la cafeína y la codeína. Con los derivados de la anilina existe el problema de una posible alteración de los pigmentos sanguíneos.

Dos años antes de la aparición de los derivados de la anilina, se descubrió que los derivados de la *pirazolona* se comportaban como eficaces agentes antifebriles. Pero, al igual que sucedía con los *derivados de la anilina*, esas sustancias y sus modificaciones sucesivas determinan efectos colaterales que interfieren con la formación de las células de la sangre. La principal ventaja que los derivados de la anilina y de la pirazolona poseen sobre los salicilatos es su menor grado de acidez, cuya consecuencia es un efecto perjudicial más atenuado sobre el tracto gastrointestinal.

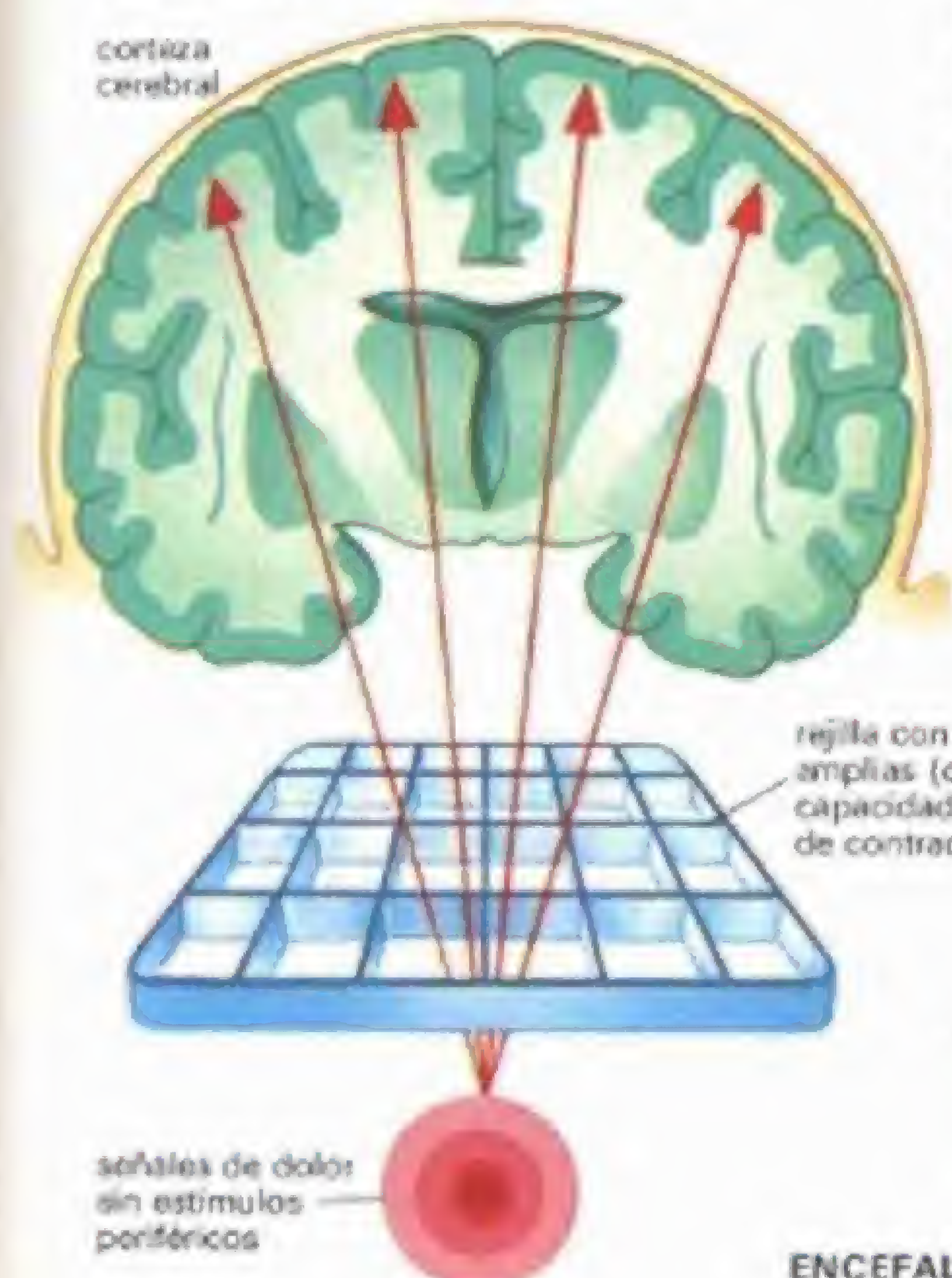
La *indometacina* y el *ácido mefenámico* son sustancias descubiertas recientemente. La indometacina es un analgésico más eficaz que la aspirina, y es particularmente útil para aliviar los dolores de origen artrítico. Sin embargo, los efectos colaterales perjudiciales comprenden trastornos gástricos, vértigo, desorientación psicológica y dolor de cabeza intenso. El ácido mefenámico es parecido a la aspirina en lo concerniente a su poder antidoloroso, pero puede desarrollar efectos colaterales dañinos sobre el riñón y sobre los elementos corpusculares de la sangre.

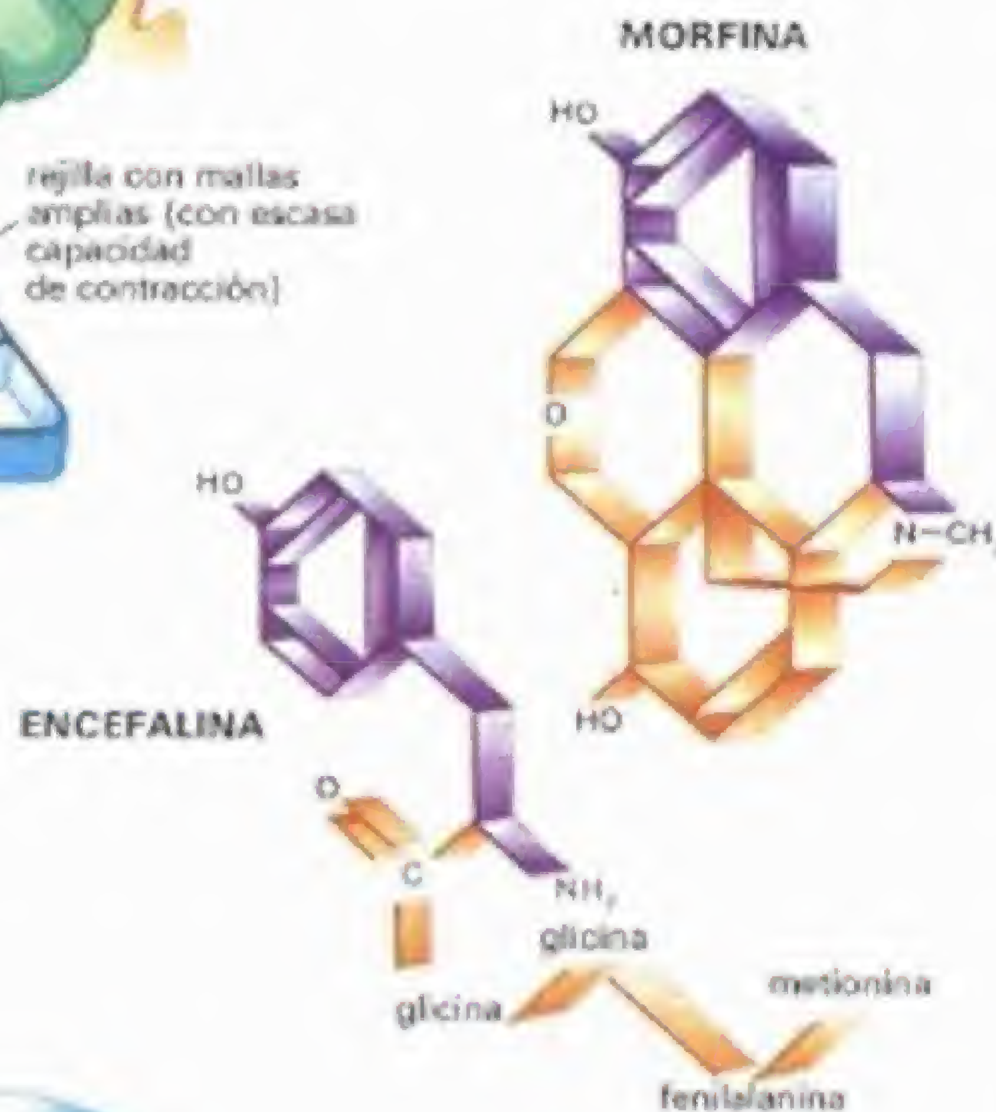
Algunos analgésicos fuertes no son considerados narcóticos dado que muy difícilmente determinan dependencia. En este grupo pueden encuadrarse la *metotrimepracina* y la *pentazocina*. La metotrimepracina es un analgésico muy potente que tiene como efecto colateral negativo la disminución de la presión arterial. La pentazocina, que puede ser considerada como un narcótico muy débil, es efectiva para combatir dolores intensos. Gracias a estas propiedades y a su baja narcoticidad, se trata de un fármaco muy difundido.

Otro analgésico, llamado *colchicina*, posee efectos más selectivos. Es eficaz sólo en el tratamiento de la gota, enfermedad causada por la presencia de una cantidad excesiva de ácido úrico en la sangre.

Véase **Aspirina; Dolor**

MECANISMO BASE DEL DOLOR CENTRAL (CEFALEA)







La cefalea o dolor de cabeza se debe a un trastorno del sistema antidoloroso. En el dolor central no es la parte que duele lo que está realmente enferma, sino que es el centro del dolor el alterado por amplificación de las señales, a su vez ligada a un defecto del sistema antidoloroso, es decir, de la rejilla antidolorosa. La función nerviosa del sistema antidoloroso está regulada por unas sustancias llamadas neurotransmisores, como la serotonina. Recientemente se han descubierto en el cerebro humano algunas sustancias, como las encefalinas y las endorfinas, que actúan de modo similar a la morfina. Los estudios efectuados sobre su composición química demuestran que, a pesar de sus diferencias estructurales, las endorfinas y las encefalinas poseen grupos activos que se disponen en el espacio como los grupos activos de la morfina, tal como podemos observar en los esquemas representados en esta página.

Análisis clínico

El paciente que acude por primera vez a la consulta de un médico puede describir síntomas tales como malestar, dolores, o sensaciones no habituales, como vértigos o enturbiamiento de la visión. Basándose en la descripción de estos síntomas, el médico comienza a perfilar un diagnóstico, es decir, una explicación de aquello que no funciona. En el pasado, los diagnósticos se fundaban casi exclusivamente en la historia clínica y en el examen físico del paciente, y también en la capacidad del médico para interpretar correctamente el significado de los síntomas. Hoy, por el contrario, una parte importante de casi todas las investigaciones diagnósticas la constituyen los análisis clínicos.

Definición Por análisis clínico se entiende el estudio, en laboratorios preparados adecuadamente, de los componentes de las muestras extraídas del organismo humano. En los laboratorios de microbiología, donde se analizan muestras de sustancias de dimensiones microscópicas, muestras de esputo, o bien de heces, los especímenes se colocan en unos caldos de cultivo líquido o en unas placas de agar (gelatina obtenida de un alga). Las muestras son controladas en sus medios de cultivo para verificar el eventual crecimiento de bacterias. Las células extraídas de los tejidos, es decir, las que requieren un examen para averiguar la eventual presencia de formaciones cancerosas, son estudiadas en los laboratorios de citología y en los de anatomía patológica. El examen de los tejidos al microscopio es uno de los cometidos desarrollados en los laboratorios siguiendo los métodos de la histología.

El análisis de los fluidos corporales, como la sangre, la orina, los líquidos acumulados en situaciones patológicas en las cavidades articulares y en otros órganos, el líquido cefalorraquídeo, etc., se lleva a cabo habitualmente en un laboratorio clínico general.

Los resultados suministran informaciones sobre el estado de salud del paciente, que deben posteriormente ser interpretadas por el médico responsable del tratamiento. Los resultados no son siempre concluyentes, pero sí una ayuda muy importante de cara al diagnóstico.

Cómo se analiza una muestra de sangre La muestra de sangre tomada de una vena se recoge en una probeta, se identifica y se envía al laboratorio de análisis. Antes de comenzar cualquier tipo de análisis es necesario, habitualmente, separar la fracción líquida de la sangre de la fracción corpuscular o sólida. A tal objeto, el tubo que contiene la muestra de sangre se coloca en una máquina llamada *centrifugadora*, cuya rápida rotación determina la caída al fondo de la parte corpuscular, más pesada, mientras que el componente líquido permanece sobrenadando en la superficie. De este modo, la fracción líquida es separada y analizada independientemente.

Al igual que el resto de los fluidos corporales, también la sangre contiene una mezcla de distintas sustancias. La fracción líquida, por ejemplo, contiene numerosos iones de sodio, potasio y calcio, proteínas, grasas, hormonas, azúcares, anticuerpos y productos de desecho. La presencia de estas sustancias se determina mediante análisis químicos. En otros tiempos, las muestras eran analizadas de modo individual para cada una de las sustancias, pero hoy en día, gracias a la utilización de aparatos complejos, como los analizadores automáticos, se consigue someter un número elevado de muestras a veinte análisis distintos en el transcurso de una hora.

Cada elemento constitutivo de los distintos fluidos corporales está presente en el individuo en cantidades diversas; sin embargo, existe una gama de valores que es típica de una situación sanitaria normal: esta gama da al médico un valor cuantitativo esperado para cada paciente y para cada sustancia en particular.

Análisis de las células de la sangre El análisis clínico de las células de la sangre comprende la determinación del número de las diversas células presentes en la muestra y su estudio al microscopio. Un instrumento denominado *contador Coulter* realiza el cálculo haciendo pasar las células a través de un conducto tan delgado que las obliga a transitar una por una. Antes de la introducción de tales contadores, el número de células se calculaba con métodos mucho más lentos: se preparaba una capa monocelular extendida sobre el por-





Los laboratorios de análisis clínicos están dotados en la actualidad de aparatos altamente sofisticados y con un elevado índice de seguridad en los resultados; estos resultados se obtienen hoy con una rapidez muy superior a la de los analizadores hasta ahora utilizados. En la foto de arriba, un analizador automático para química clínica; de izquierda a derecha se observan: el preparador de las muestras, el analizador propiamente dicho, ocultado en parte por el módulo de control de los instrumentos, y el calculador, al que se incorpora un vídeo terminal para la gestión de los datos producidos. En la página de al lado, algunos instrumentos para la ejecución de varios tipos de análisis clínicos. Arriba, un analizador totalmente automático: a la derecha, un esquema de sus diferentes apartados: en la parte central de los instrumentos se observa el lugar de pipeteo. Una muestra de suero o de plasma que debe ser examinada se dosifica adecuadamente y se mezcla con una cantidad exacta de reactivos: la reacción tiene lugar durante un tiempo fijado de antemano y a una temperatura constante y rigurosamente controlada (habitualmente 30 °C ó 37 °C). Al finalizar este período, la solución adquiere un color particular (por ejemplo, verde, azul, amarillo), cuya intensidad se determina mediante un fotómetro. De esta medición pueden deducirse la concentración y la actividad de una sustancia química (por ejemplo, glucosa, creatina, alanina, transaminasas y otras) en la sangre. En la foto de arriba a la derecha, un microcalculador que controla las varias fases del proceso analítico. A la derecha y en el centro, instrumento analizador de tipo semiautomático: la fase preparatoria se lleva a cabo mediante las pipetas de múltiples canales que se encuentran en la base del instrumento.







jeringas de precisión

motor de paso a paso

control directo de la temperatura

compartimento para medidas

fibras ópticas de cuarzo

ventiladores

agujas de pipeteo

tablero de control

soporte para las muestras

soporte para reactivos

lavado y enjuagado de probetas

soporte para incubación y agitación de probetas

impresora

filtros de interferencias



El examen del sedimento urinario permite evidenciar la presencia de los cilindros urinarios, formaciones que tienen su origen en el interior de los túbulos renales. Están constituidos por material proteico precipitado. En la foto, un ejemplo de "cilindro céreo", grueso y tosco, constituido por una sustancia homogénea, refringente, de naturaleza todavía no bien definida.

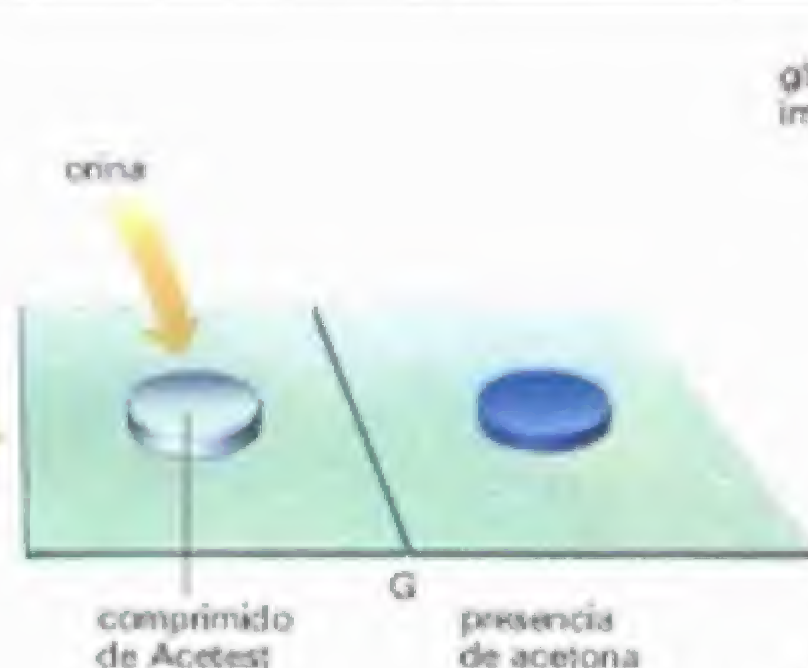
orina
bencidina y ácido acético glacial
orina
agua oxigenada
ácido acético glacial
ácido acético
orina
ácido acético
reactivo de Ehrlich
exceso de urobilinógeno
orina
A
presencia de albúmina
C
D
presencia de sangre
agua destilada
orina
reactivo de Fehling
solución de ferrocianuro potásico
presencia de glucosa
B

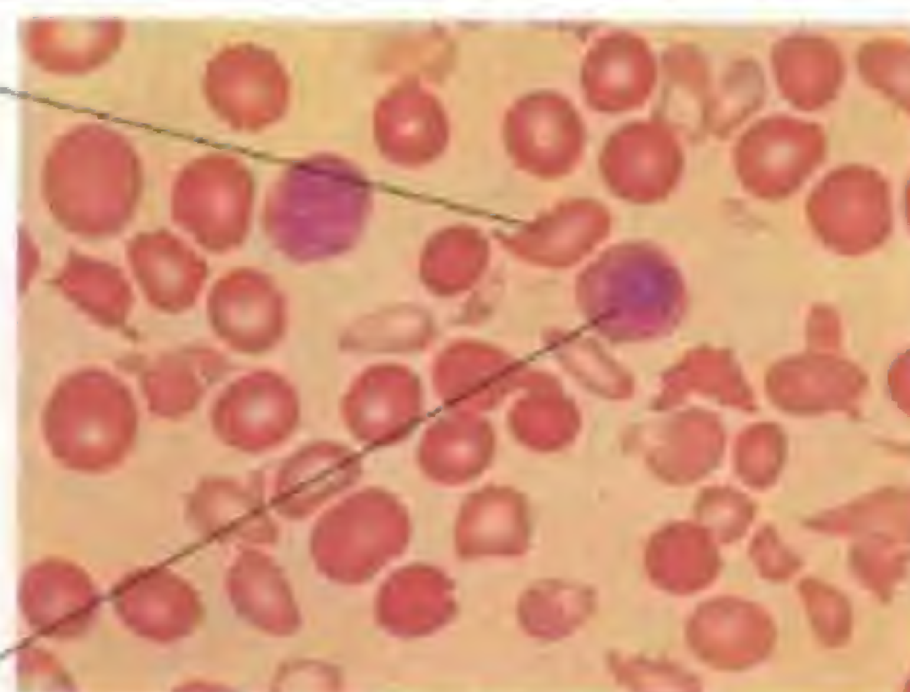
taobjetos de un microscopio y las células eran contadas una por una. Hoy, todavía se utiliza este método para efectuar un análisis diferencial, en el que se determinan las características de las células según su tipo, edad y morfología.

Resultados del análisis y del diagnóstico
Los resultados que se obtienen de los análisis de las fracciones líquida y corpuscular de la sangre son indicativos de alteraciones diversas de varios órganos. Problemas renales, por ejemplo, pueden ser puestos de manifiesto por la presencia de un exceso de urea en la sangre. Un riñón sano filtra los productos de desecho; pero si los riñones no funcionan bien, los productos de desecho se acumulan en el organismo y pueden causar el envenenamiento de la sangre. El exceso en la sangre de otro producto de desecho, la bilirrubina, un pigmento amarillo, puede indicar una alteración hepática. Un hígado sano retira la bilirrubina de la sangre y la conjuga con otra sustancia química para hacerla más soluble. Esta sale del hígado y pasa al intestino a través de los conductos, siendo excretada con las heces. Si el hígado está enfermo, la bilirrubina se acumula en la sangre y confiere al paciente una coloración amarillenta: situación denominada *ictericia*.

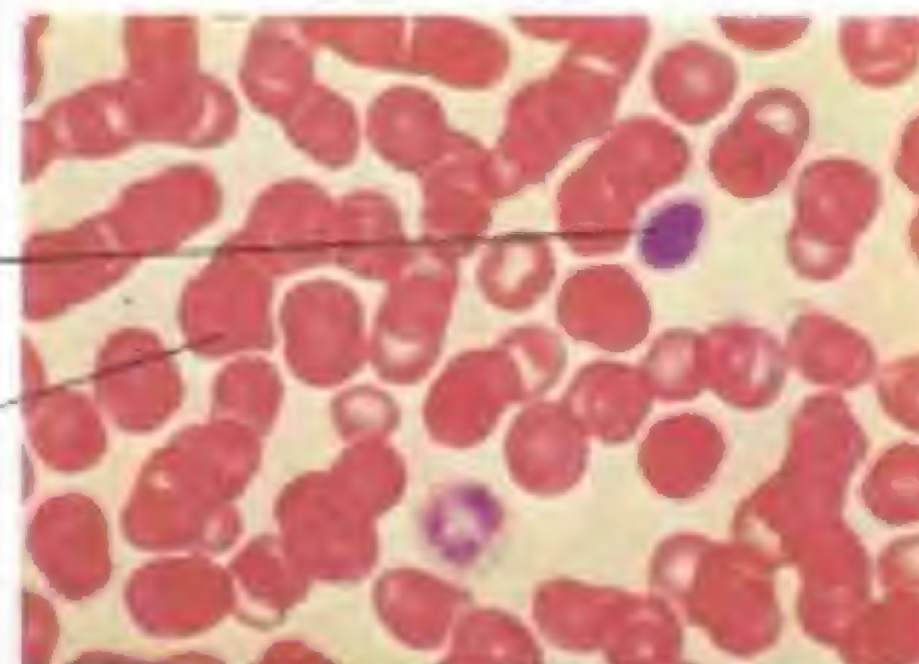
Entre los cilindros urinarios se observan frecuentemente los "cilindros granulosos". En la foto de la derecha vemos un ejemplo; el cilindro aparece cubierto de gránulos de diversas dimensiones debidos a los procesos necróticos de las células epiteliales.

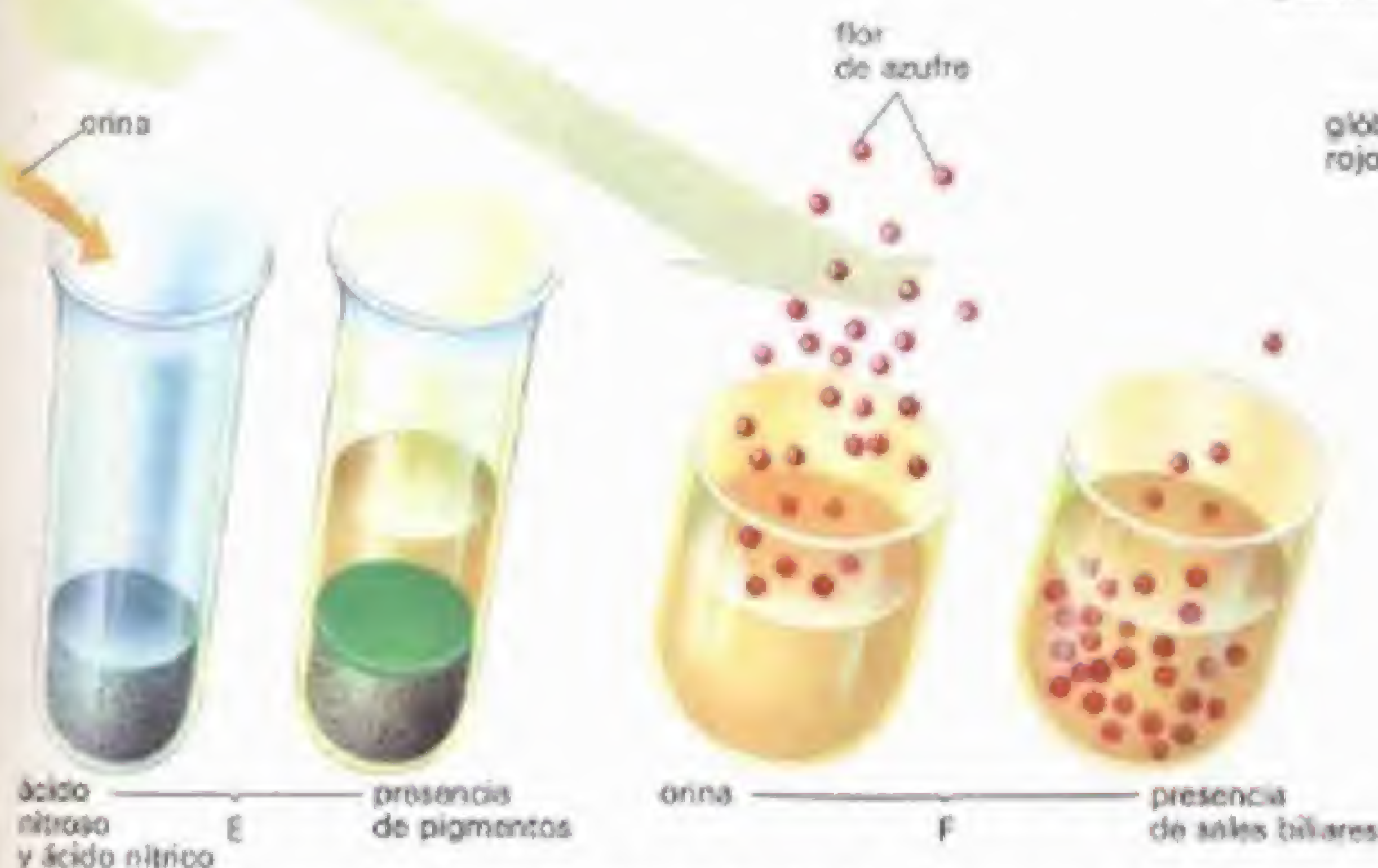






El examen de la sangre forma parte de casi todos los análisis clínicos requeridos para el diagnóstico de un estado patológico. A la izquierda, sangre de un individuo afecto de talasemia mayor, una forma grave de anemia: son evidentes muchos glóbulos rojos de forma irregular. Abajo, una extensión de sangre normal: los glóbulos rojos tienen un aspecto redondeado y regular.

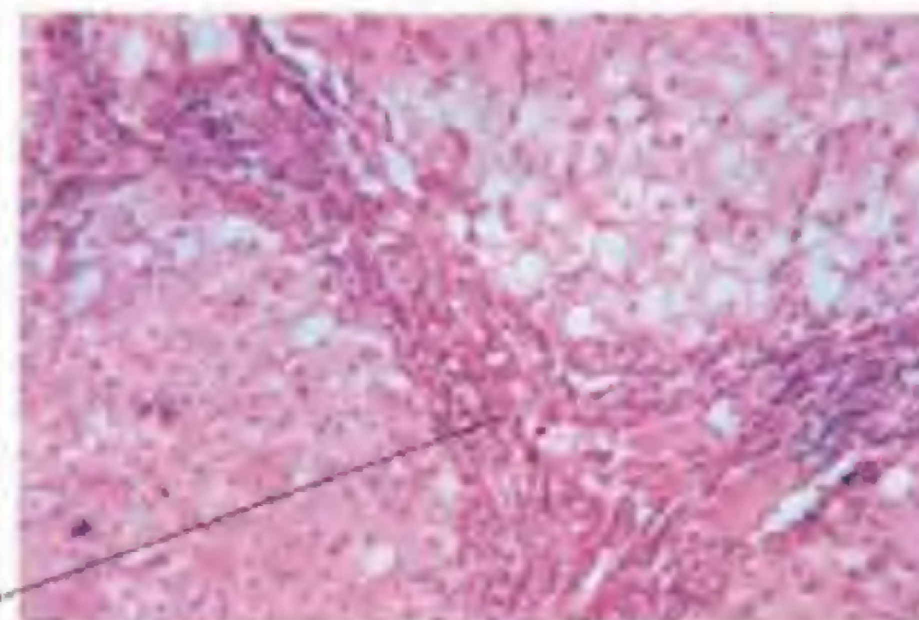


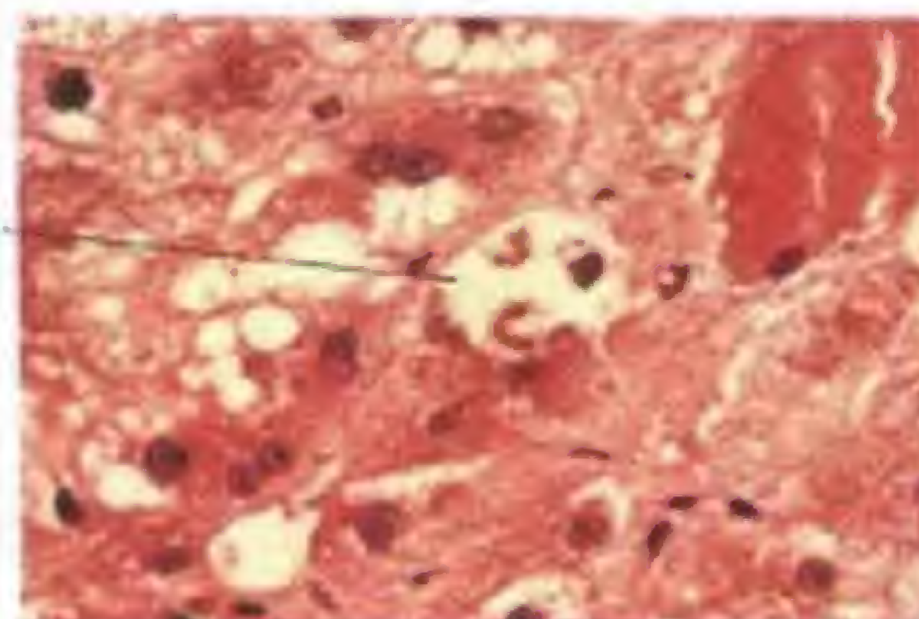


Sería muy larga la enumeración de las principales situaciones patológicas que pueden ser descubiertas mediante los análisis de laboratorio. Algunas de las alteraciones más frecuentes tienen relación con la presencia de azúcar en la orina o con un exceso de azúcar en la sangre, lo que es indicativo de la existencia de diabetes; un exceso de hormonas en la sangre o en la orina puede evidenciar una alteración de las glándulas endocrinas, como el tiroides o las suprarrenales. El incremento de determinadas hormonas puede indicar la situación de embarazo. Los glóbulos rojos que aparecen pálidos en el microscopio pueden significar un estado de anemia; mientras que un exceso de enzimas musculares o hepáticas en la sangre indica que un músculo o el hígado están dañados.

En los últimos veinte años, los análisis clínicos se han convertido en un instrumento de importancia cada vez mayor para el diagnóstico, permitiendo individualizar precozmente los signos de una enfermedad, y proporcionando al médico y al paciente la incalculable ventaja del tiempo.

Véase Diálisis; Electrocardiógrafo; Electroencefalógrafo; Endoscopia; Investigación médica; Radiología; Tomografía axial computerizada (TAC)





El examen de la orina proporciona elementos diagnósticos importantes para la exploración de enfermedades relacionadas con el riñón y las vías urinarias y también con otros órganos. Los esquemas de esta página ilustran algunos exámenes de la fracción líquida de la orina: el reactivo de Ehrlich, en (A), con un aumento de la temperatura da a la orina un color rojo y pone de manifiesto la presencia de urobilinógeno, indicativo de una afección hepática; en (B) se muestra una reacción que revela la presencia de glucosa, que no forma parte de la composición normal de la orina y que es un índice, por tanto, de un estado patológico del organismo; en (C) vemos la prueba que pone de manifiesto la presencia de albúmina, una proteína que en condiciones normales no forma parte de la composición de la orina; en (D) se descubre la presencia de sangre y, en (E), con la reacción de Gmelin, la presencia de pigmentos; la prueba de Hay en (F) denota la presencia de sales biliares; en (G) se evidencia la presencia de cetona.

En las dos fotografías sobre estas líneas, exámenes histológicos de tejido hepático obtenido mediante una punción directa. La fotografía superior comprende un preparado, coloreado adecuadamente, del hígado de un paciente afectado de cirrosis. El tejido conjuntivo se ha reproducido intensamente y se ha organizado en haces que comprimen provocando un endurecimiento del órgano. La fotografía inferior muestra el examen histológico de un hígado que ha sufrido una hepatitis alcohólica. Es evidente una intensa degeneración celular.

Análisis matemático

La Matemática es para el gran público la "ciencia del número y del espacio", como la definen aún muchos diccionarios. Sin embargo, hace siglos que los objetos matemáticos han crecido, en cantidad y complejidad, hasta desbordar los estrechos marcos iniciales de la Aritmética y la Geometría clásicas. Uno de los campos que ocupan una mayor extensión, así como un interés teórico y una aplicabilidad a la ciencia y a la técnica más generalizados, es el denominado *Análisis matemático*. Puede decirse que, al igual que la Geometría *fue* la matemática de los griegos, el Análisis *es* la matemática de la civilización occidental y, como tal, la disciplina más intensamente cultivada durante los siglos XVII al XX. Por otra parte, la Física y la Técnica, que han contribuido tan decisivamente a modelar el mundo moderno, son absolutamente impensables sin el Análisis. No es, pues, de extrañar que Spengler lo considerase como la manifestación fáustica de la matemática o que otros pensadores vean su desarrollo como una de las expresiones culturales del capitalismo y el industrialismo, necesaria, a su vez, para el desarrollo de éstos.

Pero ¿qué es el Análisis? Para los matemáticos contemporáneos se trata, esencialmente, del estudio de las funciones utilizando, de una forma combinada y específica, los métodos del Algebra y la Topología. En otros tiempos, y en cierto modo todavía hoy, consistía en el Cálculo Diferencial e Integral y un conjunto de materias que giraban en torno suyo, o que eran desarrollos del mismo: Ecuaciones diferenciales e Integrales, Cálculo de Variaciones, etc.; es decir, lo que desde la época de Newton, Leibniz y sus inmediatos continuadores dio en llamarse, por excelencia, el *Cálculo*, o más explícitamente, el *Cálculo Infinitesimal*. Aún cabría rastrear los orígenes remotos y buscar en la Grecia clásica, o antes, conocimientos que pudieran asimilarse a los que actualmente se califican de *analíticos*; los encontraríamos, por ejemplo, en el cálculo de áreas y volúmenes de cuerpos de contornos curvos o en el trazado de tangentes que, con mayor o menor fortuna, se realizaban en la Antigüedad.

Algunas ideas básicas del cálculo Reduciendo las cosas al máximo posible de síntesis y simplicidad, puede decirse que el *Análisis* estudia las propiedades de las funciones recurriendo a consideraciones y técnicas de cálculo *no finitas*, es decir, no puramente algebraicas. Por ejemplo: si se desea hallar el área limitada por la recta $y=x$, el eje de abcisas y la recta $x=1$, basta una sencilla multiplicación para conseguir el resultado 1/2, ya que se trata, simplemente, de un triángulo de base y altura iguales a la unidad; sin embargo el problema de determinar análoga área para el caso de la curva $y=x^2$ (una parábola), que tiene el valor aparentemente sencillo de 1/3, exige un método sofisticado que, usando de modo intuitivo e informal el lenguaje del cálculo, supone sumar infinitas cantidades infinitamente pequeñas (o *infinitésimos*), como hacía Arquímedes hace ya más de dos mil años. Dicho método consiste en dividir el segmento [0,1] en n partes iguales y aproximar el área S, limitada por el eje de abscisas, la vertical $x=1$ y la parábola por el área $S(n)$, suma de los n rectángulos de bases iguales a $1/n$ y alturas respectivas:

$$0, \frac{1}{n^2}, \frac{2^2}{n^2}, \ldots, \frac{(n-1)^2}{n^2};$$

se tendrá así:

$$S=S(n)+\varepsilon(n)$$

donde (ver recuadro):

$$S(n)=\frac{1}{n}\left[0+\frac{1}{n^2}+\cdots+\frac{(n-1)^2}{n^2}\right]=$$
$$=\frac{2n^3-3n^2+n}{6n^3}=\frac{1}{3}-\frac{1}{2n}+\frac{1}{6n^2}$$

y $\varepsilon(n)$ es una cantidad que representa el área comprendida entre la curva y los rectángulos.

Al aumentar el número de divisiones resulta que $\varepsilon(n)$ se hace cada vez más pequeño, lo mismo que los números $1/2n$ y $1/6n^2$. Si hiciéramos crecer n indefinidamente o, como se dice más técnicamente, *tender a infinito*, dichas cantidades *tenderían a cero* y quedaría $S=1/3$. Nuestro resultado es exacto pero imposible de obtener si nos movemos en el terreno puramente algebraico o aritmético, ya que nunca se harán nulos los valores aludidos por grande que sea n. Precisamente el Análisis establece con rigor el concepto de *límite* que permite dar un sentido a expresiones como las usadas anteriormente ("tender a cero" o "tender a infinito") que carecen de sentido en el Algebra o la Aritmética. En realidad, dicho concepto, nacido en el Análisis, es hoy estudiado, junto con otros, como el de *continuidad*, en la Topología.

La operación que hemos realizado artesanalmente, al estilo de Arquímedes, se resuelve actualmente con el concepto de *integral definida*. Se llama integral definida de la función $y=f(x)$ entre los valores $x=a$ y $x=b$, y se escribe $\int_a^b f(x)dx$, al valor límite, si existe (lo que sucede en muchos supuestos y, desde luego, si f es continua), de la suma $\Sigma f(x_i)(x_i-x_{i-1})$, siendo $x_0=a, x_1 \ldots x_n=b$ los extremos de los intervalos en que se ha dividido el segmento [a,b], cuando el ancho máximo de los mismos tiende a cero. Su significación geométrica es la del área limitada por el eje de abcisas, las rectas $x=a$ y $x=b$ y la curva $y=f(x)$.

En la expresión $\int_a^b f(x)dx$, que se lee "integral de $f(x)$ diferencial de x entre a y b", el signo $\int$, una *s* estilizada introducida por Leibniz, puede, intuitiva e informalmente, interpretarse como una *suma* de infinitos rectángulos $f(x)dx$, donde dx (*diferencial de x*) viene a significar el ancho infinitesimal de los mismos.

El interés del concepto de integral reside en que permite desarrollar métodos de cálculo que trivializan la obtención de resultados como el conseguido laboriosamente antes, incluso en casos mucho más difíciles y complicados.

La integral definida de la función f entre a y b es un número. Si se deja fijo a y se hace que b tome diferentes valores, se obtendrán, en correspondencia, diferentes números. Se puede, pues, expresar así la llamada función integral: $F(x)=\int_a^x f(x)dx$.

Los otros dos conceptos capitales del cálculo son los de *derivada* y *diferencial*. Si se tiene una función $y=f(x)$ continua y se estudia en un punto $x=x_0$ el cociente entre los incrementos de la función $\Delta f=f(x_1)-f(x_0)$ y de la variable independiente $\Delta x=x_1-x_0$, puede suceder que dicho cociente tenga o no un límite determinado cuando x_1-x_0 tienda a cero. En caso afirmativo, dicho número se denomina *derivada* de f en x_0 y se designa por $f'(x_0)$. Su significación geométrica es la de la pendiente de la recta tangente en x_0 a la curva, por ser el límite de $\Delta f/\Delta x$ pendiente de la cuerda que une los puntos $(x_0, f(x_0))$ y $(x_1, f(x_1))$. De la derivada se deduce la *diferencial* de f en x_0 que es una función lineal de la nueva variable $x-x_0$, designada por Δx o por dx, mediante la expresión $df=f'(x_0)dx$.

La cuestión más interesante es que para valores de $\Delta x=dx$ pequeños, df es la mejor aproximación lineal de f. En realidad representa geométricamente la recta tangente en x_0 a la curva respecto a unos ejes cartesianos paralelos a los primitivos x e y que pasen por $(x_0, f(x_0))$.

UNAS SUMAS INTERESANTES

$$\sum_1^n k=1+2+\cdots+n=\frac{n(n+1)}{2}$$

$$\sum_1^n k^2=1^2+2^2+\cdots+n^2=\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

$$\sum_1^n k^3=1^3+2^3+\cdots+n^3=\frac{n^2(n+1)^2}{4}$$

– La primera se obtiene observando que:

$$2\sum_1^n k=(1+\cdots+n)+(n+\cdots+1)=$$
$$=(n+1)+\cdots+(n+1)=n(n+1)$$

– La segunda, teniendo en cuenta las igualdades:

$$\sum_1^n (k+1)^3-\sum_1^n k^3=(n+1)^3-1$$

$$\sum_1^n (k+1)^3-\sum_1^n k^3=n+3\sum_1^n k+3\sum_1^n k^2$$

que conducen a:

$$3\sum_1^n k^2=(n+1)^3-(n+1)-3\frac{n(n+1)}{2}$$

y por simplificación a la fórmula dada.

– La tercera (y análogas para potencias superiores) por idéntico método.

A

Las dos curvas sencillas $y = x$ e $y = x^2$ de la figura tienen tratamiento muy diverso a la hora de calcular las áreas que definen. Basta una operación algebraica para obtener el valor 1/2 en el primer caso. Sin embargo, hay que utilizar los procedimientos de cálculo integral si se quiere encontrar el resultado de 1/3 para el segundo.

B

La superficie que una curva (en la figura la parábola $y = x^2$) deja entre el eje de abscisas y dos ordenadas determinadas puede calcularse, por defecto, sumando rectángulos inscritos. El concepto matemático de integral se basa en la idea de hacer rectángulos cada vez más estrechos, de modo que el error cometido tienda a cero.

C

Los conceptos de derivada y diferencial de una función son básicos en el Análisis. Cuando se trata de una función real de una variable real admiten una representación gráfica y una significación sencillas. La derivada en un punto es la pendiente de la tangente en el mismo, que es el límite de las secantes cuando el segundo punto de corte tiende al primero. La diferencial en un punto es una nueva función lineal de la variable $dx = x - x_0$; el valor numérico de tal función representa la mejor aproximación lineal al incremento de la función.

Por otra parte, también puede definirse la llamada *función derivada* $f'(x)$, que es tal que a cada x le atribuye el valor numérico de la derivada en él.

Naturalmente los conceptos de derivada, diferencial e integral pueden extenderse, y de ahí su interés, a funciones entre espacios diferentes de los formados por los números reales; por ejemplo, a los de los números complejos, espacios vectoriales, etcétera.

La integral, que tiene la significación inmediata de un área geométrica cuando $f(x)$ es la ordenada de una curva, es, sin embargo, susceptible de múltiples interpretaciones. Por ejemplo, la de un volumen cuando $f(x)$ representa un área perpendicular a x, o un trabajo cuando $f(x)$ es una fuerza de la misma dirección que x.

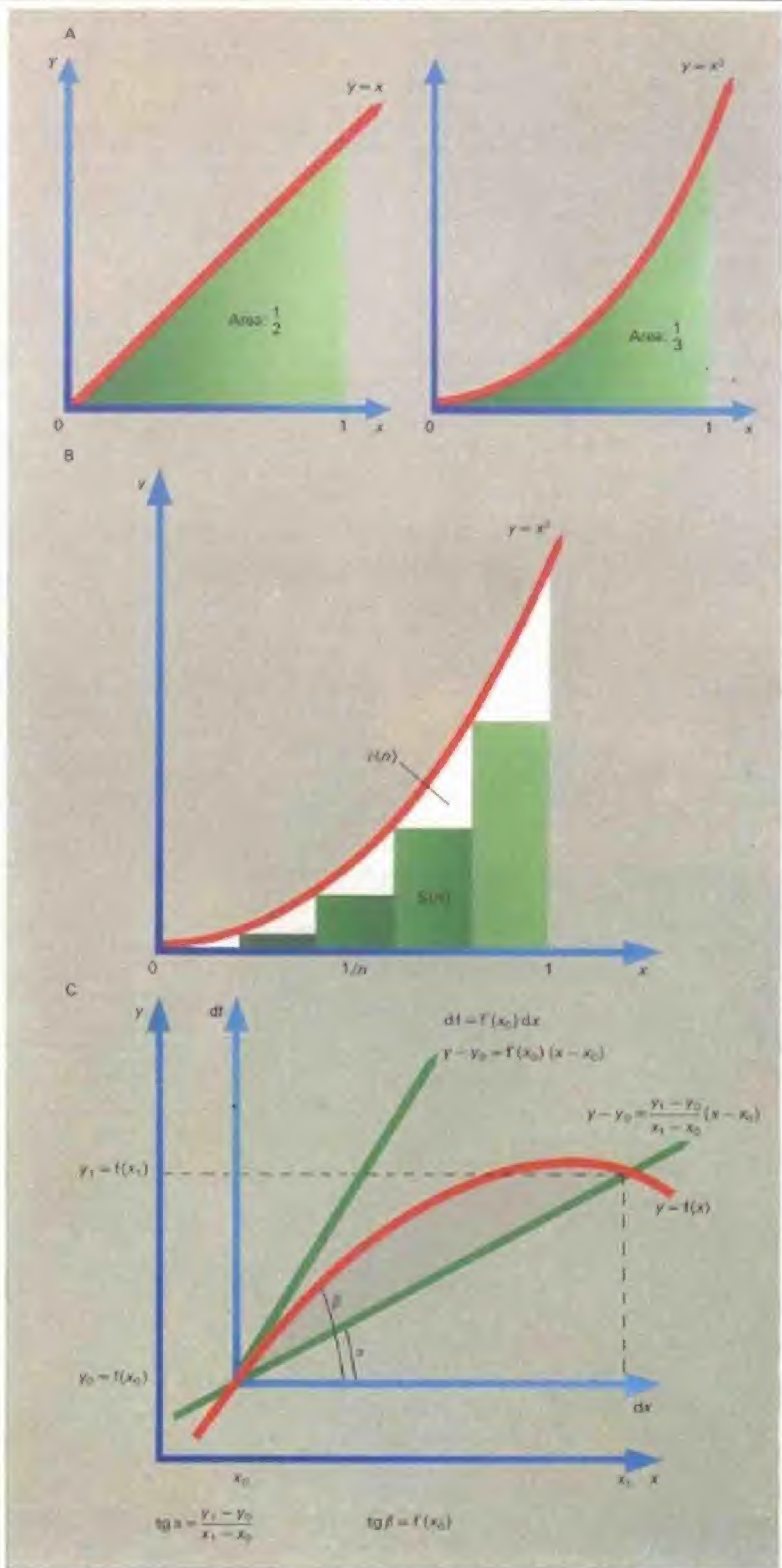
Análogamente, la interpretación de $f'(x_0)$ como pendiente de la tangente a la curva $y = f(x)$ en el punto $(x_0, f(x_0))$ no es la única. Físicamente es mucho más obvia la significación cinemática de velocidad; en efecto, si $f(t)$ representa la coordenada rectilínea de un punto móvil, variable en función del tiempo t, resulta inmediato que

$$\frac{f(t_1) - f(t_0)}{t_1 - t_0}$$

es la velocidad media entre los instantes t_0 y t_1, y su límite $f'(t_0)$ la velocidad instantánea. Naturalmente la velocidad en cualquier tiempo vendría dada por la función derivada $f'(t)$.

La idea central del cálculo radica, precisamente, en la relación entre la derivada y la integral, es decir, en el nexo entre los problemas clásicos de la tangente y el área. Dicha relación la da un teorema llamado *fundamental del cálculo*, que establece que si f es continua $F(x) = \int_a^x f(x)dx$ es derivable y su derivada es

$$F'(x) = f(x)$$



La anterior igualdad puede expresarse verbalmente diciendo que la integral de f(x) es una *primitiva* de f(x). Se llaman *primitivas de una función* aquellas otras funciones cuya derivada es dicha función. Evidentemente, si existe para f una primitiva, existen infinitas y difieren dos cualesquiera en sólo una constante; ello es obvio por ser nula la derivada de una constante. Para representar a todas las *primitivas —antiderivadas*, como se dice a veces— se utiliza la llamada *integral indefinida*

$$\int f(x)dx = F(x) + C,$$

donde F(x) es una primitiva cualquiera y C representa una constante arbitraria.

Una consecuencia del teorema anterior es que reduce el problema de hallar la integral definida al nada simple de hallar primitivas o integrales indefinidas. Ese resultado se expresa así:

$$\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a),$$

siendo F(x) una primitiva.

Entre las aplicaciones más inmediatas del cálculo están las relativas al trazado de tangentes, determinación de máximos y mínimos, desarrollos en serie de funciones, etc.; casi todas requieren reiterar la operación de derivar; es decir, la de estudiar si es derivable y, en su caso, hallar la derivada de la función derivada, llamada *derivada segunda*, luego la de ésta, o *derivada tercera*, y así sucesivamente.

Bosquejo histórico Es imposible trazar en pocas líneas una síntesis histórica, por esquemática que quiera ser, del Análisis. En esencia dicha historia es la del esfuerzo humano por aprehender y utilizar un concepto sumamente difícil: el de *límite*.

Todas las civilizaciones, con métodos más o menos ingeniosos, han conseguido realizar cálculos aproximados de cantidades que sólo con procesos de "paso al límite" pueden establecerse exactamente. En ese sentido, babilonios, egipcios, chinos y, sobre todo, griegos conocieron aproximaciones, razonables para números tales como $\sqrt{2}$ ó π. Los griegos estudiaron igualmente el problema de la tangente y calcularon áreas y volúmenes con bastante aproximación. Arquímedes (287-212 a. de C.), el más grande de los matemáticos antiguos y uno de los más geniales de todos los tiempos, fue, en cierto modo, un precursor auténtico del Análisis, llegando a calcular el área de un segmento de parábola y el de la elipse, la superficie y volumen de la esfera, etc. Igualmente acotó el valor de π en la forma

$$3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$$

lo que a efectos prácticos es un resultado excelente. Arquímedes utilizaba, a título puramente heurístico, métodos análogos a los que hemos seguido en el cálculo del área definida por una parábola (Arquímedes realizó realmente el cálculo del *segmento de parábola*). Dicho método se denomina de *exhaución*. De todos modos, Arquímedes, fiel a la mentalidad griega, demostraba, luego de obtenidos, sus resultados por razonamientos geométricos rigurosos.

Durante más de un milenio y medio se hacen muy pocos progresos. Oresme (1325-1382) representa funciones en lo que luego se llamarán "ejes cartesianos" y empieza a estudiar series numéricas (sumas de infinitos números). Kepler (1571-1630) calcula volúmenes con métodos que serán reconocidos más adelante como infinitesimales. Cavalieri (1598-1647) y Torricelli (1608-1647) desarrollan el método de los indivisibles para el cálculo de volúmenes. En otra línea de pensamiento, Descartes (1596-1650) crea la Geometría Analítica, que permite la representación algebraica de curvas geométricas, dando un paso de gigante. Los ingleses Wallis, Barrow y, sobre todo, Newton (1642-1727), ya en pleno siglo XVII, desarrollan el cálculo con series, resuelven el problema de la tangente, ligan el mismo con el del área, etc. Y Newton en especial puede considerarse como el creador del cálculo diferencial, que él llama de *fluxiones*. Sin embargo, en el continente el extraordinario Leibniz (1646-1716) desarrolla el cálculo con otra formulación que es la que más se parece a la actual. Por cierto que la polémica de Newton y Leibniz sobre el mérito de la prioridad ocupó bastantes energías a ambos y estuvo, tal vez, en el origen de una larga incomunicación de los analistas ingleses, perjudicados por una notación, la de Newton, inferior a la continental. El naciente cálculo también fue motivo de fuertes controversias filosóficas, en las que se destacó por sus ataques (no exentos de razón) el obispo y filósofo Berkeley.

Es de señalar que los desarrollos aludidos discurren paralelos con sus múltiples aplicaciones a la Astronomía, a la Mecánica y a sus aprovechamientos técnicos. Puede decirse que, gracias a ellos, la Matemática se convierte en un factor de desarrollo económico y social de la máxima importancia. El cálculo con infinitésimos (cantidades tan pequeñas como se quiera, que se anulan en el límite cuando conviene al calculista, pero con las que puede operarse) se desarrolla a partir del siglo XVII y XVIII vertiginosamente. La familia Bernoulli y Euler (1707-1783) son los continuadores inmediatos y más notables de la obra de Leibniz. Tras ellos se entra en una fase en la que se atiende más a desarrollos particulares, a extensiones y, en gran medida, a la purga de errores y de conceptos poco rigurosos (como el de infinitésimo). Es la gran labor de los Cauchy, Riemann, Weiestras, etc. a lo largo del siglo XIX (la que se ha llamado la aritmetización del Análisis).

Los últimos tiempos del siglo XIX y el siglo XX traerán nuevos desarrollos y nuevas ciencias nacidas en la cuna del Análisis (la Topología, la Teoría de la Integral, el Análisis Funcional, etcétera).

Situación actual El Análisis sigue siendo, desde muchos puntos de vista, la disciplina matemática de mayor interés, aunque sus fronteras, sus influencias y relaciones mutuas con otras, especialmente las que cultivan el estudio de las estructu-



Isaac Newton (1642-1727) fue un matemático y físico inglés cuya contribución al Cálculo, aunque con una notación nada feliz, fue de la máxima importancia. La propia Mecánica es, en gran parte, creación de Newton. Las leyes del movimiento planetario de Kepler fueron estudiadas matemáticamente por él, y le permitieron deducir la ley de la Gravitación universal (cuya idea original atribuye la tradición, con humor, a la caída de una manzana sobre su cabeza). En Newton se conjugan de forma magistral, el uso de la Matemática con el estudio de la Naturaleza, que dan a la ciencia moderna su especial potencia (más allá del empirismo simplista en que algunos creen se basa). La obra capital de Newton es *Philosophia naturalis principia Mathematica* ("Principios matemáticos de la Filosofía natural"), publicada en 1687.

ras fundamentales —Algebra y Topología—, y la aparición de múltiples campos nuevos han hecho, en cierto modo, desdibujar dicha realidad.

Actualmente se suele distinguir entre el *Análisis Real*, el *Análisis Complejo* y el *Análisis Abstracto*. El primero se dedica al estudio de las funciones reales de una o varias variables reales. El segundo, al estudio de las funciones de una o varias variables complejas. El aspecto más interesante de las funciones de variable compleja se da al estudiar su derivada; resulta que si, bajo ciertas condiciones en cuanto al dominio en que está definida la función, ésta es derivable una vez, lo es también indefinidamente. Por otra parte, este hecho equivale a que la función sea desarrollable en serie de potencias o analítica. El *Análisis Abstracto*, a veces llamado también *general* o *funcional*, se dedica a estudiar espacios abstractos, dotados de estructuras algebraicas y topológicas más o menos complicadas, y a las propiedades de las funciones definidas entre ellos. Normalmente utiliza el método de considerar a las funciones como elementos de nuevos espacios dotados a su vez de estructura algebraica y topológica (de ahí que originalmente se usase la denominación de Análisis Funcional).

Como sucede en otros muchos casos, la Topología general, que maneja ideas como *límite* y *continuidad*, nacidas originalmente en el Análisis, es ahora una disciplina independiente y fundamental que, junto con el Algebra, proporciona a aquél los conceptos y métodos de que se sirve.

Algo parecido sucede con la Geometría. Originariamente, el invento de las coordenadas hizo posible la Geometría Analítica y ésta abrió el camino del Análisis. Posteriormente, el desarrollo de éste fue tal, que la Geometría Analítica y posteriormente la Geometría Diferencial se convirtieron en meras aplicaciones del Análisis. Pero este proceso no paró ahí. La Geometría tomó su revancha: las ideas formalmente algebraicas y topológicas que usa el Análisis moderno tienen un origen y un estilo típicamente geométricos (espacio de funciones, *distancia* entre funciones, etc.). Es más, los objetos más avanzados nacidos en la Geometría Diferencial, las Variedades Diferenciables (generalización y abstracción de las curvas y superficies del espacio ordinario), constituyen igualmente un tema fundamental para el nuevo Análisis.

Existe un conjunto amplio de disciplinas que pueden considerarse como capítulos especializados o aplicados del Análisis. Quizá el más interesante por su importancia en las aplicaciones físicas y técnicas sea el de la *Teoría de Ecuaciones Diferenciales*. Se dice que una función es solución de una ecuación diferencial cuando ella y su derivada (o derivadas, si es de orden superior) cumplen idénticamente la ecuación y, normalmente, algunas condiciones adicionales. La mayor parte de los fenómenos físicos se modelizan matemáticamente mediante ecuaciones diferenciales.

Otros capítulos interesantes son los relativos a las ecuaciones integrales o al cálculo de variaciones. Una *ecuación integral* es una ecuación en la que la incógnita es una función y ésta aparece sometida a la operación integral. El cálculo de variaciones es el que estudia bajo qué condiciones una función hace máximo o mínimo el valor de una integral; en tiempos pasados ocupó un gran interés matemático y físico; hoy aparece como un caso particular del cálculo de máximos y mínimos en el Análisis Abstracto.

Un capítulo esencial en el Análisis sigue siendo, naturalmente, el dedicado a la integración. La evolución del concepto de *integral* y su extensión a familias de funciones definidas en conjuntos abstractos ha hecho que dicho capítulo se convierta en toda una *Teoría de la Medida y la Integral*.

Por último, merece la pena aludir a dos inventos matemáticos de este siglo (también lo son, casi en su totalidad, la Topología, el Análisis Funcional o la Teoría de la Medida) que muestran las vueltas que da la historia y los extraños caminos que sigue el llamado rigor matemático. Nos referimos a la *Teoría de las Distribuciones* y al *Análisis No-standard*.

A lo largo del tiempo los ingenieros, físicos y otros matemáticos aplicados, con el escándalo de los matemáticos puros, han venido *derivando* funciones no derivables. Por ejemplo, la función *salto unidad*, que es nula para valores negativos de la variable independiente y unidad para los positivos, no es, evidentemente, derivable en el origen (en él no puede dibujarse la tangente); sin embargo, en determinadas aplicaciones científicas conviene admitir que su derivada es la llamada *δ de Dirac*, que es nula en todos los puntos menos en el origen, donde no está definida, y tal que su integral en cualquier intervalo que comprenda el origen vale la unidad. Pues bien, Laurent Schwart, al filo del medio siglo, dio rigor a tan peregrinos resultados con la *Teoría de las Distribuciones*, que convertía a la espúrea "función" δ en la "honorable" distribución δ.

En cuanto al *Análisis No-standard*, es una invención de los años sesenta que se debe a Robinson (famoso también por sus trabajos en campos tan diversos como la Lógica matemática y la Aerodinámica teórica) y consiste ni más ni menos que en legitimar el uso de los infinitésimos mediante el astuto expediente de probar que existe una extensión del conjunto de los reales $\mathbb{R}$, el de los *hiperreales* $\mathbb{R}^*$, que contiene tres clases de elementos: *hiperreales finitos*, *infinitos* e *infinitésimos*. Los primeros coinciden con los reales; los segundos son aquellos que gozan de la propiedad de ser mayores, en valor absoluto, que cualquier real; y los últimos, análogamente, la de ser menores. Un adecuado sistema de axiomas y definiciones permite desarrollar un cálculo que maneja rigurosamente cantidades infinitesimales.

Véase **Continuidad; Convergencia; Derivada y diferencial; Ecuaciones diferenciales; Función matemática; Geometría diferencial; Infinito matemático; Integrales; Optimización; Series; Topología**



Wilhelm Gottfried Leibniz (1646-1716) fue filósofo, matemático, científico natural, e incluso teólogo y político de importancia capital. Dejando de lado su labor diplomática y pro-unidad de las iglesias o su obra filosófica —vertida en libros como *La Monadologie*, de 1714— todavía habría que reconocerle como uno de los grandes genios de la Humanidad. Sus trabajos pioneros en la lógica matemática y el cálculo automático (creador de una máquina de calcular) y sus contribuciones a diferentes ramas de la matemática (Algebra, Combinatoria, etcétera) serían también suficientes para acreditarle como gran matemático. No obstante, es su aportación indiscutible al Cálculo Infinitesimal (cuya prioridad fue, sin razón, discutida por Newton) la que le hace más importante para nosotros.

Análisis químico

Al igual que cualquier otra rama de la ciencia, el análisis químico requiere paciencia y práctica, además de experiencia técnica. El interés por los metales, los minerales y otras sustancias se despertó ya en el mundo antiguo. Así, los babilonios utilizaban ya, 2.600 años a. de C., pesas hechas de piedra. El azufre, el carbono y siete metales —cobre, oro, hierro, plomo, mercurio, plata y estaño— se utilizaban en la Antigüedad. La identificación de estas sustancias y los métodos para transformarlas eran cuestiones tan trascendentales para algunas civilizaciones antiguas en Egipto, Mesopotamia y China como lo pueden ser para nosotros en la actualidad. En el siglo IV a. de C. se determinó la pureza del oro según el tipo de estrías amarillas que se producían cuando se frotaba la muestra con una piedra que servía de referencia.



litio

bario

estroncio





antimonio



bismuto

En el siglo XVII, el filósofo Robert Boyle introdujo el término "análisis" en la Química. Los primeros trabajos sobre análisis de los gases fueron realizados a mediados del siglo XIX por Bunsen en Alemania y Berthelot en Francia. Las importantísimas técnicas basadas en la energía atómica fueron desarrolladas a partir de 1950, paralelamente a la investigación electrónica y a la del empleo de los rayos láser.

El análisis químico se ha beneficiado últimamente con la aplicación de la automatización, sobre todo de los ordenadores, habiendo experimentado importantes transformaciones derivadas de los recientes avances en electrónica.

Objeto El principal objeto del análisis químico es el de responder a todas las cuestiones acerca de la identidad y la composición de la materia ¿Qué es ésto? ¿De qué está hecho? ¿Cuál es su pureza? ¿Contiene *x* o *y*? El análisis químico representa un intento de obtener estas respuestas mediante el estudio de la composición y de la estructura de la materia.

Fases principales Todo análisis químico debe realizarse a través de las etapas siguientes:

1) toma de la muestra a estudiar;

2) examen de la muestra;

3) selección del método analítico más adecuado;

4) transformación del material hasta un estado en que puede ser sometido al método elegido;

5) realización del análisis propiamente dicho;

6) interpretación de los resultados.

La muestra consiste en una pequeña parte del material a analizar asegurándose de que esta porción presenta todas las características físicas y químicas del material de partida. Algunos materiales, tales como los productos alimenticios en las cantidades dedicadas al consumo, las bebidas alcohólicas, los gases y los líquidos, por ejemplo, que presentan generalmente una composición homogénea, son fáciles de fraccionar para tomar muestras. En otros casos, como el carbón en grandes cantidades, el tomar la muestra es mucho más complicado, dado que algunos componentes pueden variar en las distintas partes de la partida a analizar. Para asegurar la precisión es fundamental que la muestra permanezca inalterada hasta el momento en que se va a efectuar el análisis.

En análisis químico es muy importante considerar los errores, así como las posibles fuentes de los mismos. Los errores pueden ser *indeterminados* (errores imprevistos en cada momento) o *definidos* (tales como los causados por reacciones concretas, por impurezas, por deficiencias de los instrumentos analíticos o por error del propio operador).

Fundamentos del método Existen dos ramas de la Química analítica: el *análisis cualitativo* y el *análisis cuantitativo*. Pero antes de comentar estas disciplinas, es importante definir con claridad los siguientes conceptos:

Atomo: la porción más pequeña de un elemento que puede existir sola o en combinación con otros elementos.

Molécula: la menor unidad física de un compuesto, que está formada por dos o más átomos unidos entre sí.

Electrón: partícula elemental cargada y constituyente fundamental de la materia, que existe como partícula independiente o como componente del átomo; se localiza fuera del núcleo.

Ion: átomo o grupo de átomos cargados eléctricamente que se forman por pérdida o captación de uno o más electrones.

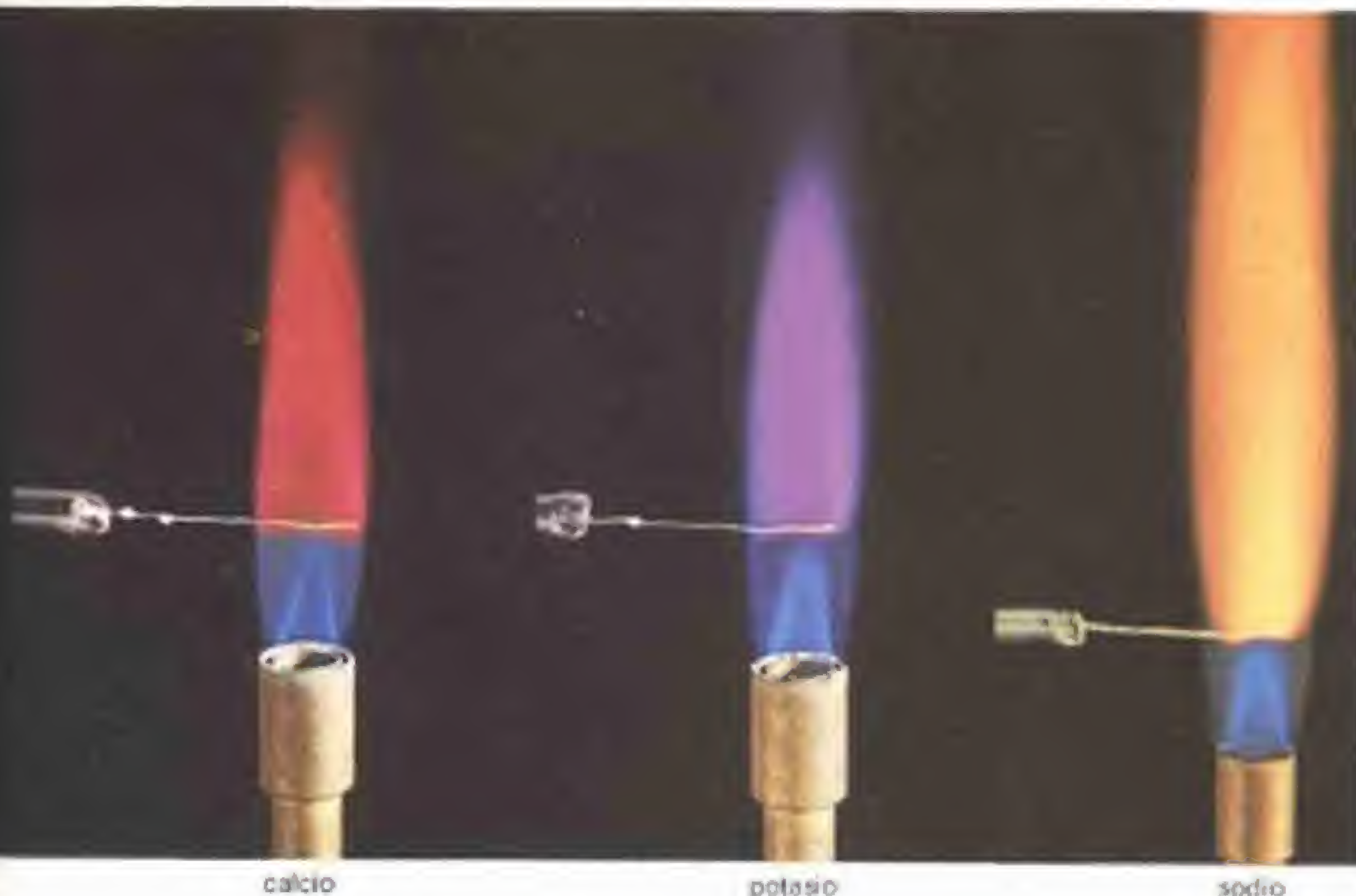
Catión: ion positivo formado por pérdida de electrones.

Anión: ion negativo formado por captación de electrones.

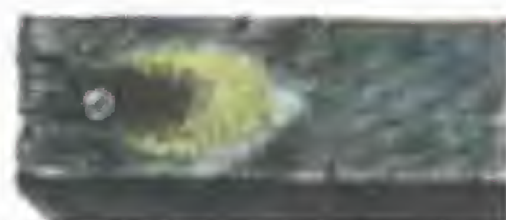
Química orgánica: campo de la Química que trata de los compuestos de carbono orgánico.

Química inorgánica: campo de la Química que trata de los compuestos que no contienen carbono.

Análisis cualitativo Su objeto es la identificación de los elementos de un compuesto o de los componentes presentes en una mezcla de varios compuestos. Esta ciencia se desarrolló para ser aplicada en el estudio de los minerales. Se ha dirigido desde sus orígenes hacia la identificación de cationes y aniones inorgánicos corrientes. Algunas reacciones químicas ocurren únicamente en presencia de algunos iones concretos. Gracias a esto, al aplicar una serie de reacciones definidas, se pueden eliminar secuencialmente de la



Los diversos elementos producen coloraciones brillantes características al ser calentados a la llama, lo que constituye un ensayo cualitativo preliminar para determinar la naturaleza del elemento estudiado. En la práctica, se coloca la muestra en el extremo de un hilo de platino que previamente ha sido lavado, calentado a la llama y dejado enfriar. A continuación se baña el hilo con ácido clorhídrico, se impregna con el polvo de la muestra y se calienta de nuevo. Los metales alcalinos y alcalino-térreos son particularmente sensibles a este tipo de ensayo. De izquierda a derecha, en la figura, se recogen los resultados del ensayo a la llama para el litio, bario, estroncio, calcio, potasio y sodio. Abajo se muestra el resultado de un ensayo a soplete. Se hace una cavidad sobre la superficie de un pequeño bloque de carbón vegetal y se introduce en la misma el polvo de la muestra a estudiar. A continuación se aplica la llama de un mechero Bunsen sobre la oquedad. Al quemarse, el carbón provoca que la muestra se reduzca fuertemente, descomponiéndose y dando lugar a que algunos de los elementos presentes proporcionen un color característico. En la secuencia de la figura, de izquierda a derecha, podemos observar el resultado del ensayo a soplete para sustancias que contienen antimonio, bismuto, arsénico, cobre, plomo y zinc.


arsénico


cobre


plomo


zinc

solución grupos de iones. Así, el elemento desconocido objeto del análisis irá pasando a formar parte de grupos de iones cada vez más restringidos, hasta llegar a la identificación inequívoca del mismo.

En general, el análisis cualitativo suele realizarse siguiendo estas etapas:

I) *Estudio preliminar de la muestra.* Sirve para establecer la forma de la muestra, sus características físicas, incluyendo su color, olor, dureza, etcétera.

II) *Ensayos de tipo químico.* Incluyen los ensayos en seco (que son aquellos que utilizan el efecto del calor) y los ensayos en húmedo (que son aquellos que requieren la solubilización de la muestra).

1) *Ensayos en seco.* Se basan generalmente en el estudio de los colores, que por su brillantez e intensidad constituyen un aspecto importante en este tipo de ensayos. Estos pueden ser de varios tipos:

a) *Ensayos a la llama.* Los compuestos de algunos elementos dan lugar a la producción de un color característico al ser calentados a la llama. El ensayo se realiza colocando una parte de la muestra sobre un hilo de platino previamente humedecido con ácido clorhídrico, que después se introduce en una llama. Se forman cloruros que provocan la aparición de coloraciones intensas que dependen del compuesto que se trate en cada caso. Así: el potasio produce una coloración violeta; el sodio, amarilla; el calcio, roja, y el cobre, verde intensa. Si se observan estas coloraciones a través de un espectroscopio (instrumento óptico que sirve para observar el espectro de la luz), se pueden obtener determinacio-

En la figura se muestran tres ensayos a la "perla" de bórax, un ensayo de reconocimiento muy sensible y de fácil ejecución. Para realizarlo, se dobla un extremo de un hilo de platino en forma de asa y se introduce en la llama de un mechero Bunsen. El asa calentada se impregna en polvo de bórax, o tetraborato de sodio, que se adhiere al hilo al rojo y se funde, dando lugar a una masa transparente que se denomina "perla". La "perla" se pone en contacto seguidamente con la sustancia a estudiar, de forma que se adhiera aunque sólo sea una porción pequeñísima de la misma. Después, se somete de nuevo la "perla" a la llama; tras separarla, y a medida que se enfría la muestra, se observa la aparición de colores determinados que dependen de la naturaleza de la muestra. En la secuencia se pueden ver, de arriba abajo, tres ejemplos de ensayos a la "perla" de bórax. Arriba, la "perla" de color rojo-violáceo indica la presencia de manganeso. En medio, la coloración azul indica la presencia de cobalto. Finalmente, abajo, la perla de color azulado indica la presencia de trazas de cobre en la muestra.


manganeso


cobalto


cobre



nes aún más precisas. Los colores diversos producidos por metales raros tales como el indio, el talio y el cesio han sido identificados gracias al espectroscopio.

b) *Ensayos con soplete*. En esta técnica, el compuesto que se va a analizar se coloca en una cavidad operada en un fragmento de carbón de leño y posteriormente se recalienta a la llama de un soplete, el cual impulsa aire (o gas) en circulación forzada para aumentar y concentrar el efecto del poder calorífico de la llama. La naturaleza del compuesto analizado puede establecerse entonces mediante examen de los residuos obtenidos tras la acción de la llama. En el caso de algunas sustancias, estos residuos pueden ser tratados seguidamente con reactivos químicos y posteriormente calentados de nuevo, con el objeto de obtener mayor información acerca de la muestra.

Se pueden obtener también "perlas" no coloreadas fundiendo bórax u otras sales sobre un hilo de platino curvado en forma de asa. Estas "perlas" forman óxidos metálicos o sales, que producen colores diversos y específicos y que pueden servir para su mejor identificación.

Ambos tipos de ensayo en seco han sido desplazados últimamente por técnicas más modernas. Sin embargo, todavía se aplican hoy de forma limitada y, en cualquier caso, han sido fundamentales para el desarrollo histórico de la Química.

2) *Ensayos en disolución*. Se utilizan diversos procedimientos para solubilizar la muestra a ensayar, de forma que puedan ser estudiados los aniones y los cationes separadamente.

3) *Prueba de la gota*. Requiere únicamente una o dos gotas de solución y puede realizarse sobre cristal o papel. Muchas de las pruebas de confirmación (es decir, las que ratifican la identificación de un elemento) se realizan de acuerdo con esta técnica del análisis cualitativo. Permiten identificar con rapidez una sustancia o compuesto en los que la presencia de un elemento dado se detecta por un cambio de color o por una precipitación (es decir, un cambio de solubilidad).

Análisis instrumental Los procedimientos instrumentales, desarrollados principalmente a partir de los años treinta, han cambiado totalmente el panorama de la Química analítica. Se ha pasado del empleo de instrumentos que reproducen procesos altamente automatizados y procesos técnicos de laboratorio hasta los que indican la presencia de determinados compuestos, así como la cantidad presente de los mismos, sacando partido de la manera en que dichos compuestos responden a estímulos de diferentes formas de energía. Entre los métodos de análisis instrumental más corrientes, podemos citar:

1) *Método espectroscópico*. Si un átomo o una molécula absorben energía, quedan "excitados" y pasan a un nivel energético superior. Al volver a recuperar dicho átomo o molécula su nivel energético original, se libera una cantidad de energía que, mediante un instrumento adecuado, llamado *espectroscopio*, puede ser registrada en forma de una serie de bandas cuya longitud de onda es específica para cada elemento. La longitud de onda de la radiación emitida depende de la diferencia energética existente entre los dos niveles de energía antes considerados, e identifica inequívocamente al átomo o a la molécula implicados. El análisis espectroscópico cualitativo se basa por tanto en la longitud de onda de la banda emitida, mientras que el análisis cuantitativo se basa en la intensidad de la misma.

2) *Análisis espectrofotométrico*. Muchas moléculas o iones pueden reaccionar con determinados compuestos formando sustancias fuertemente coloreadas o que absorben determinadas radiaciones visibles, infrarrojas o ultravioletas. Midiendo la intensidad de absorción característica de estas sustancias, puede determinarse su abundancia.

3) *Análisis mediante fluorescencia a los rayos X*. Un tubo normal de los empleados en producir rayos X emite una radiación intensa que, al incidir sobre una pequeña cantidad de una sustancia, "excita" a sus átomos y les induce a emitir nuevos rayos X. El análisis de éstos permite identificar con gran eficacia la naturaleza de los átomos de la muestra que han sido "excitados" por la radiación X, especialmente si se trata de átomos pesados. Es incluso posible bombardear la muestra con un estrecho haz de electrones que, al incidir en un punto, provocan la emisión de radiaciones secundarias en ese punto de la muestra. Esta radiación puede ser analizada y sirve para construir un mapa del contenido de la propia muestra. Muchos microscopios electrónicos poseen un accesorio que permite realizar este tipo de análisis.

4) *Análisis por activación*. Se trata de un método de "excitación" radiactiva aplicado a elementos que no son radiactivos por sí mismos. El análisis de activación ha jugado un papel clave en el análisis de las rocas lunares recogidas por los astronautas.

5) *Métodos cromatográficos*. Estos métodos se basan en la distribución de la sustancia entre dos fases inmiscibles entre sí, de las que una es móvil y la otra permanece estacionaria. Los métodos cromatográficos se clasifican, en general, de acuerdo con el estado de las fases inmiscibles. Así, se habla de métodos cromatográficos líqui-

El análisis volumétrico permite determinar la cantidad de una sustancia contenida en una disolución. En la secuencia que vemos al lado se ilustra una valoración acidimétrica, es decir, la determinación cuantitativa en términos de volumen de un ácido o una base. La titulación se realiza con una bureta, o recipiente de forma cilíndrica estrecha y alargada, que está graduada con el cero en la parte superior y que en la parte inferior posee una llave. La bureta permite dejar caer gota a gota el líquido que contiene. Dicho líquido es un indicador, o sea, un compuesto que tiene la propiedad de cambiar de color cuando entra en contacto con una determinada cantidad de un ácido o una base. En la práctica, se añaden algunas gotas del indicador a la solución de la sustancia cuya concentración deseamos conocer. Después se hace gotear lentamente la sustancia utilizada para titular (1) desde la bureta enrasada a cero. Como vemos en 2, va apareciendo, tras la neutralización del ácido, una coloración fugaz debida al indicador. Seguimos añadiendo solución tituladora hasta el viraje de color del indicador (3), alcanzando el punto de equivalencia o punto final. A partir de la cantidad de indicador usada podemos calcular la cantidad de ácido o de base que deseábamos conocer.







do-líquido, gas-líquido, líquido-sólido y gas-sólido. Por ejemplo, en la cromatografía en fase gaseosa la fase móvil está constituida por un gas que se aplica a presión a través de la fase estacionaria, líquida o sólida, que está contenida en una columna.

El análisis cromatográfico es uno de los medios más potentes de separación química y se caracteriza por un elevado grado de selectividad y por una notable rapidez en su ejecución. El análisis cromatográfico permite, además, recuperar posteriormente las sustancias separadas.

6) *Espectrometría de masas*. Este método se basa en la posibilidad de separar iones atómicos o moleculares por medio de la acción combinada de un campo eléctrico y un campo magnético. En el espectrofotómetro de masas se introduce la muestra en estado gaseoso, en una cámara en la que se ha hecho el vacío. Dentro de esta cámara la muestra es bombardeada por un haz de electrones que provoca la ionización de la molécula y la ruptura de los enlaces sencillos de los iones moleculares formados de este modo, con la subsiguiente ionización de los fragmentos obtenidos. Al entrar los iones en el campo magnético experimentan una desviación que es inversamente proporcional a su masa. Se produce de este modo una separación de las distintas masas, que a su vez, pueden ser determinadas mediante cálculos adecuados.

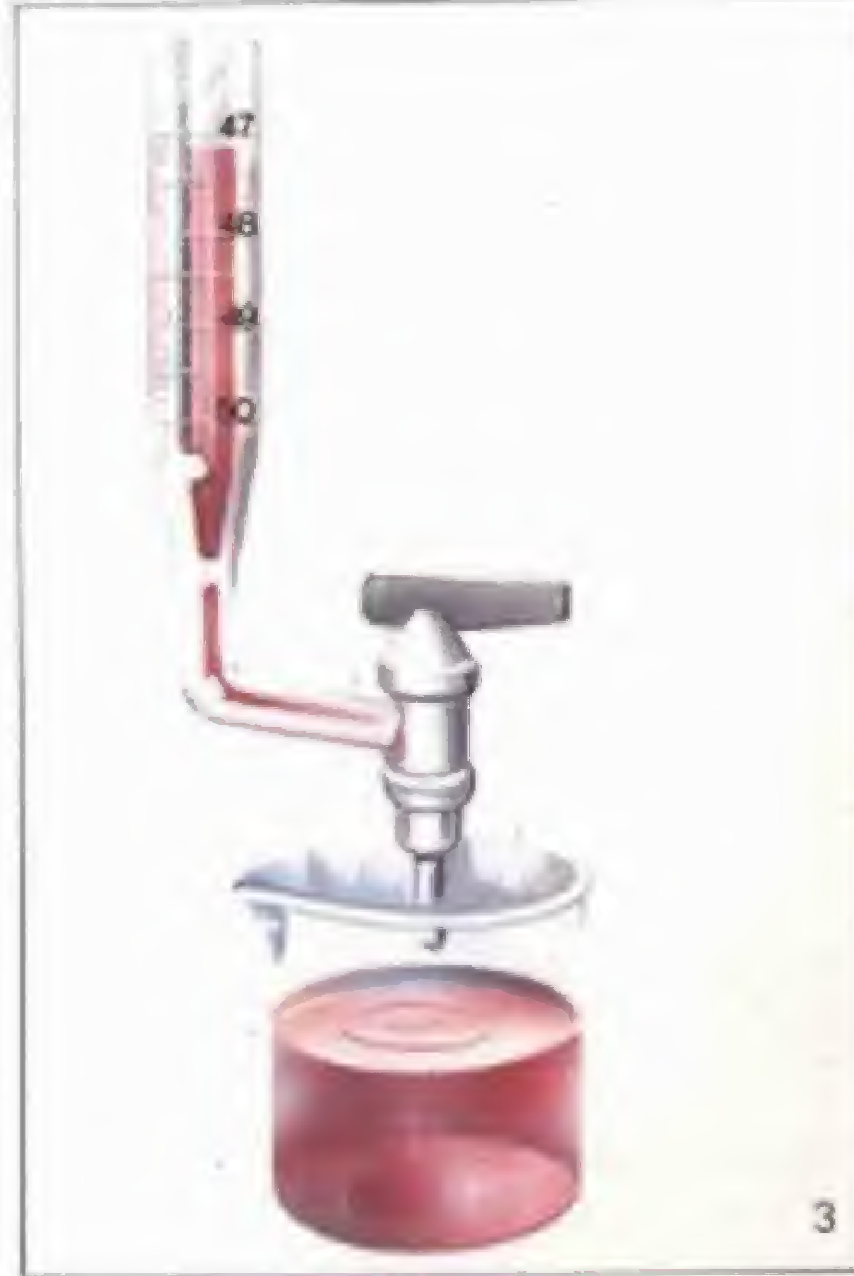
Los instrumentos analíticos pueden ser dispositivos muy sencillos, o complejos y costosos aparatos electrónicos. La instrumentación varía también considerablemente en lo que respecta al grado de participación del operador. En los aparatos más sofisticados se requiere en general muy poca atención durante las operaciones. Pero, obviamente, ello implica una mayor programación previa.

Análisis cuantitativo Es la parte de la Química analítica cuyo objeto es determinar

En la figura de arriba, y de izquierda a derecha, podemos observar el desarrollo de una de las operaciones más frecuentes realizadas por el químico en el laboratorio: el análisis cuantitativo gravimétrico. Este tipo de análisis permite calcular la cantidad de un elemento que está presente en un preparado. Para realizarlo se parte del precipitado de una solución que se decanta sobre un filtro de cenizas taradas, o sin cenizas, es decir, un filtro que al quemarse no deja residuos minerales que puedan alterar la mezcla final (1). Después se procede al lavado del precipitado sobre el filtro (2), hasta eliminar el resto de las sustancias presentes en la solución. En este punto permanece únicamente la sustancia que deseamos valorar. Seguidamente se procede a la desecación del filtro y del residuo en una estufa (3) a la temperatura de 105 °C. De esta forma eliminamos toda traza de humedad. Posteriormente, se calienta el residuo en un crisol sobre la llama de un mechero Bunsen. Junto al residuo, se somete también a calcinación el filtro, que desaparece sin dejar cenizas (4). Para enfriar, se deposita el residuo en un desecador para evitar la absorción de humedad (5). Finalmente se pesa el residuo en una balanza analítica de precisión (6).







la cantidad de un elemento presente en un compuesto o las cantidades de los compuestos que se encuentran en una mezcla. Las fases implicadas en la ejecución de este tipo de análisis vienen determinadas de acuerdo con la naturaleza del material estudiado, con la cantidad existente del mismo y con el método elegido.

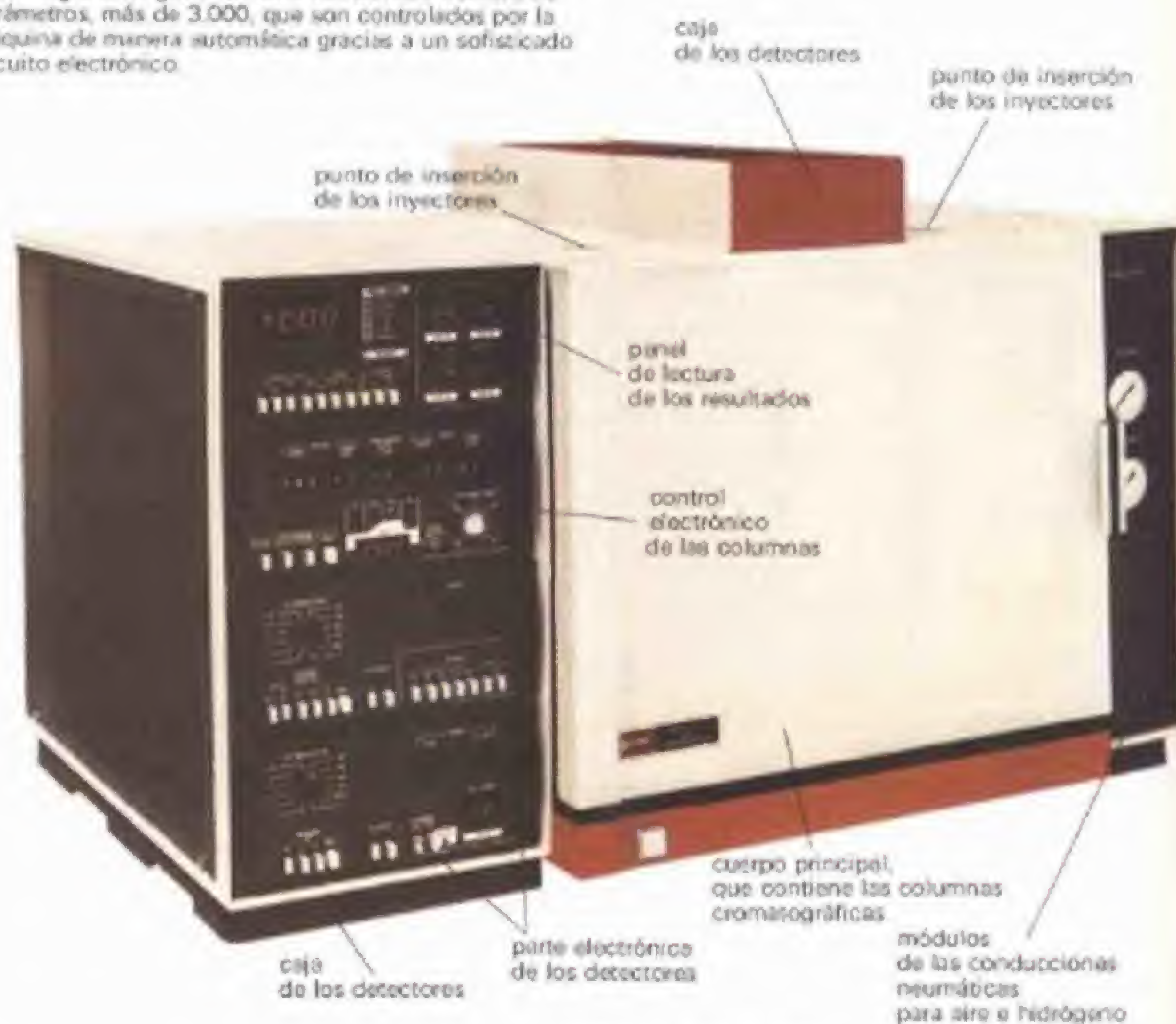
El análisis cuantitativo se clasifica en:

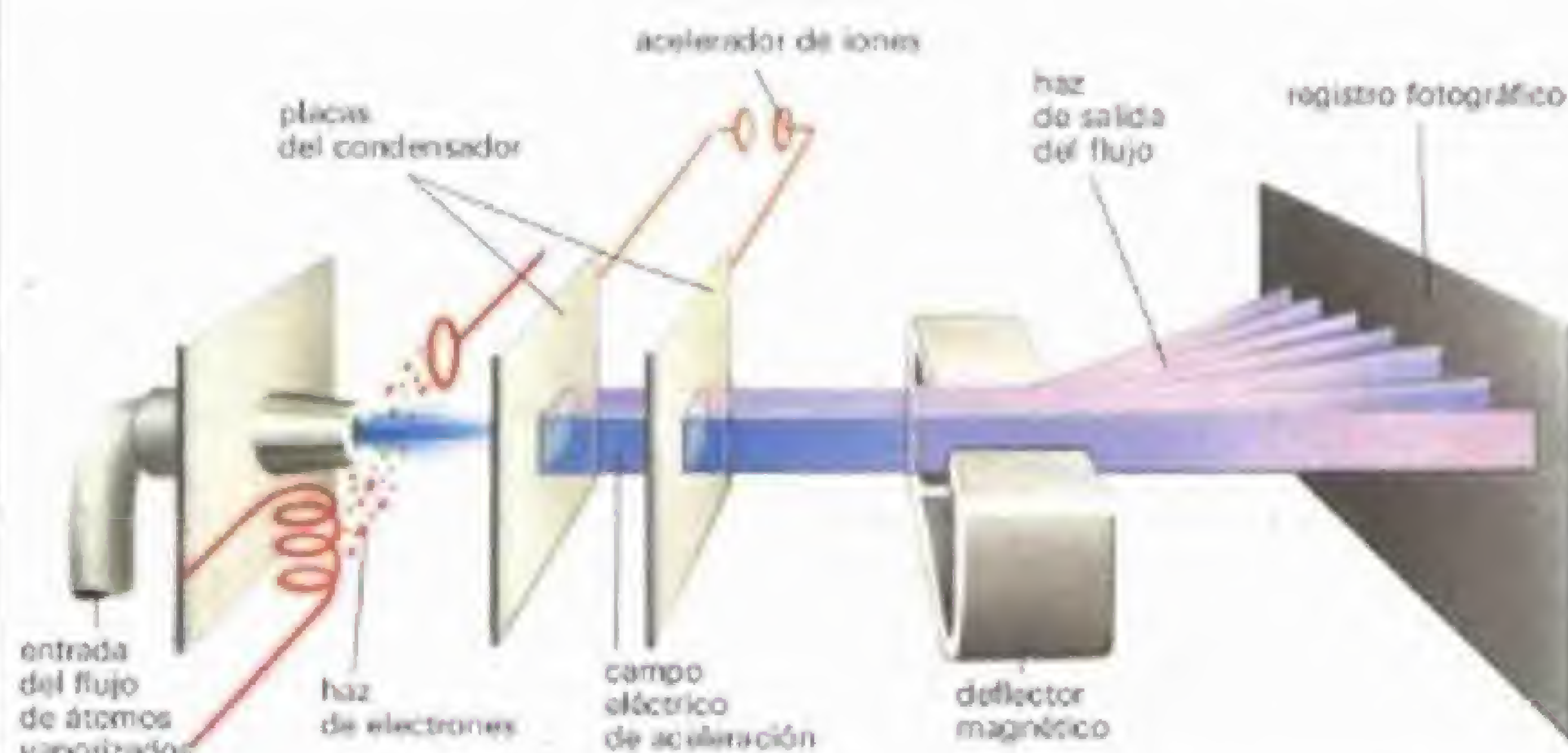
1) *Análisis gravimétrico*, cuando el peso es la base fundamental del cálculo para el análisis.

2) *Análisis volumétrico*, cuando implica la utilización de disoluciones de concentración conocida, que al reaccionar con la muestra permiten determinar la cantidad del material analizado que está presente en la misma.

Un buen ejemplo que ilustra la aplicación de ambos métodos podría ser el procedimiento empleado para la determinación de cloruros. En el análisis gravimétrico, el analista trata la muestra con una solución de nitrato de plata, que precipita el cloruro en forma de cloruro de plata. En el análisis volumétrico, la misma muestra se mezcla con una cantidad conocida de una solución de nitrato de plata. Se mide el volumen de solución requerido para reaccionar con la cantidad exacta de cloruro presente. A partir de este volumen y de la concentración de la disolución empleada se determina el contenido en cloruro de la muestra.

La complejidad del cuadro de mandos de un cromatógrafo de gases da idea del elevado número de parámetros, más de 3.000, que son controlados por la máquina de manera automática gracias a un sofisticado circuito electrónico.





Arriba, un cromatógrafo de gases, instrumento que permite separar determinadas sustancias de una mezcla compleja, con una selectividad tan elevada que las sustancias quedan en un estado de total pureza. El término "cromatografía gaseosa" indica que las sustancias implicadas son gaseosas o volatilizables. A la izquierda vemos el principio de funcionamiento de un espectrómetro de masas. Un haz de electrones ioniza los átomos, que después son desviados por un campo magnético: a menor masa del ion, más rápida será su deflexión. Una placa fotográfica registra los trazos de deflexión, permitiendo calcular la masa de los átomos implicados. En la página siguiente, y arriba, se muestra el esquema de un espectrofotómetro óptico, instrumento que mide la absorción de luz por una disolución respecto a distintas longitudes de onda. La absorción depende de la presencia en una sustancia de grupos químicos concretos. Debajo se muestra el instrumento completo.

En los análisis definitivos, se determina la cantidad presente de un elemento o de un compuesto. En los aproximados, se estudian componentes específicos como un grupo de composición desconocida.

Los métodos aplicados en el análisis cuantitativo varían según la naturaleza de la sustancia objeto de estudio. Por ello, los resultados obtenidos en los distintos métodos experimentales han sido recopilados para facilitar la labor del analista.

Estos resultados se obtienen de ensayos relativos a productos de muchas áreas diferentes, entre las que podemos citar los productos alimenticios, los productos tecnológicos y los de aplicación agraria.

Métodos integrados usados en el análisis

Métodos clásicos. Se utilizan en gran escala los métodos manuales y de laboratorio cuando son accesibles. Estos métodos son económicos e importantes para la enseñanza, la industria y la investigación. Las aplicaciones modernas, particularmente importantes, incluyen los análisis para detectar la presencia y la naturaleza de drogas y estupefacientes prohibidos y el estudio de los compuestos clorados del carbono de la atmósfera.

Análisis microquímico. Este análisis puede ser aplicado para analizar muestras muy exiguas. Los aparatos empleados son muy sofisticados y costosos y requieren una notable experiencia por parte del analista. Estos métodos han abierto nuevas puertas a la investigación, haciendo posible la determinación de la composición de muestras minúsculas, tales como las empleadas en Bioquímica.

Análisis de los gases. Estos métodos se basan en la absorción de los componentes de una mezcla gaseosa y en la medida de las variaciones de volumen resultantes de dicha absorción.

Ensayos en seco. Este método se usa para determinar el contenido de metales preciosos en los minerales. Los metales se extraen mediante el empleo de plomo fundido que, al reenfriarse, se liga y arrastra los metales preciosos.

Métodos ópticos. Se basan fundamentalmente en la medida del grado de interacción de la luz o de las radiaciones electromagnéticas con la materia.

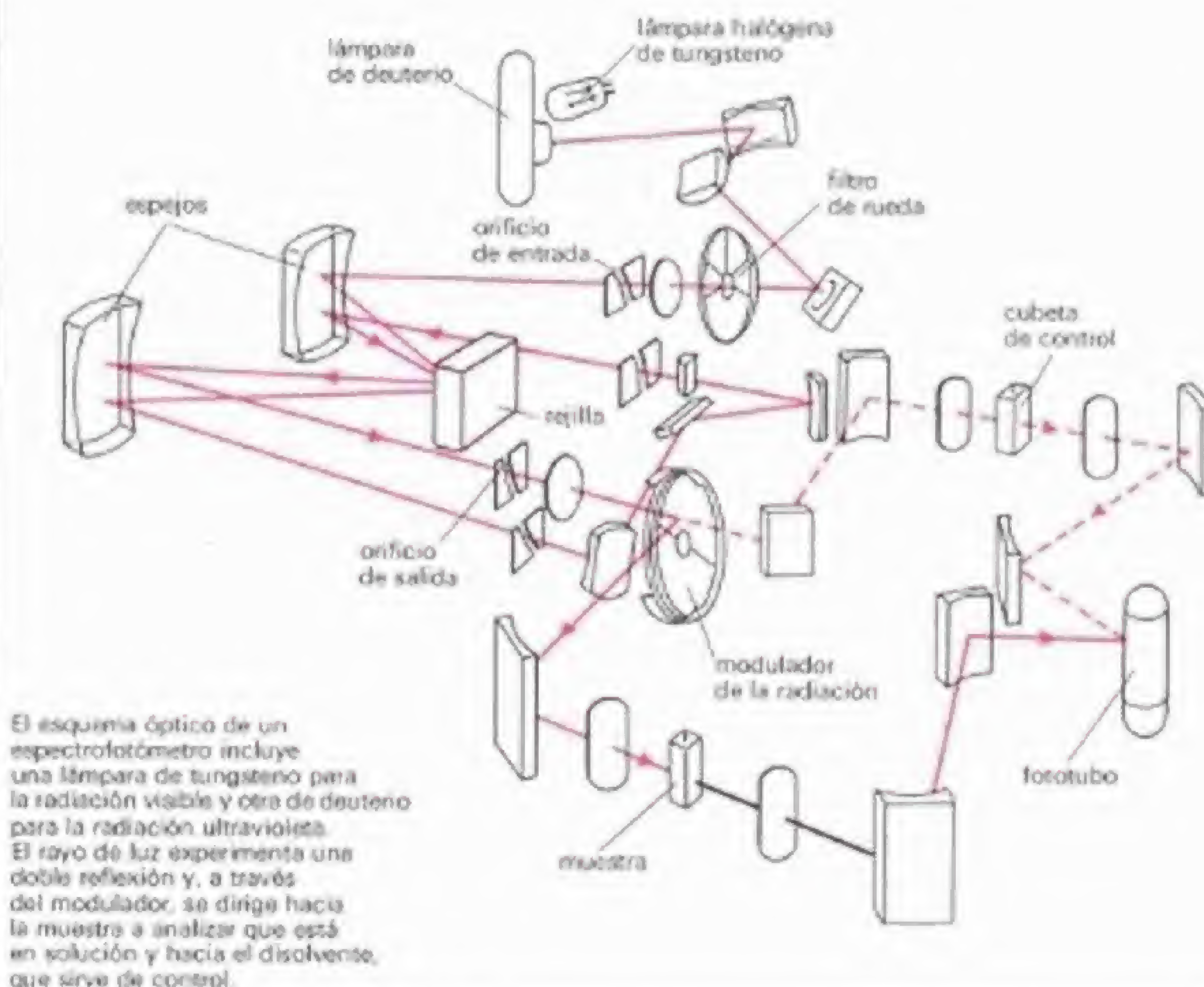
Aparatos semiautomáticos. Permiten ahorrar mano de obra, eliminando lo más ingrato del trabajo, y proporcionan resultados más manejables.

Analizadores de procesos. Implican la separación física entre el laboratorio químico

de control central y el lugar donde se desarrollan los trabajos químicos de las diversas instalaciones de las plantas de producción. Los instrumentos de laboratorio, en su mayoría, podrían ser aplicados de hecho directamente en el lugar donde se producen las transformaciones químicas, pero en este caso se pueden presentar problemas derivados del mantenimiento de aparatos delicados en zonas distantes, o situaciones de emergencia en lugares alejados del laboratorio base. Los analizadores de procesos son costosos, pero sus aspectos positivos, entre los que destaca la eliminación de largos retrasos en la obtención de los resultados, justifican su creciente difusión actual.

Análisis de elementos raros. El titanio, el circonio y el tungsteno constituyen algunos ejemplos de elementos poco conocidos que tienen cada día mayor aplicación, en especial en las industrias aeronáutica y espacial. Los métodos clásicos descritos más arriba pueden aplicarse en el análisis de estos elementos, si bien la mayor parte de la investigación en estos sectores se dirige hacia la puesta a punto de métodos más eficientes y rápidos.

Véase **Cromatografía; Cromatografía de gases; Espectroscopia; Laboratorio químico; Microanálisis; Titulación química**



El esquema óptico de un espectrofotómetro incluye una lámpara de tungsteno para la radiación visible y otra de deuterio para la radiación ultravioleta. El rayo de luz experimenta una doble reflexión y, a través del modulador, se dirige hacia la muestra a analizar que está en solución y hacia el disolvente, que sirve de control.

En la figura, un espectrofotómetro para luz infrarroja, que permite determinar la presencia de determinados grupos químicos. La lectura es completamente automática y el resultado aparece en un panel digital.

Ancla y anclaje

El ancla es un instrumento de hierro o acero que sirve para inmovilizar y asegurar las embarcaciones. El tipo de ancla usado depende de varios factores, entre ellos: la naturaleza del fondo marino, la fuerza del mar y la duración del fondeo.

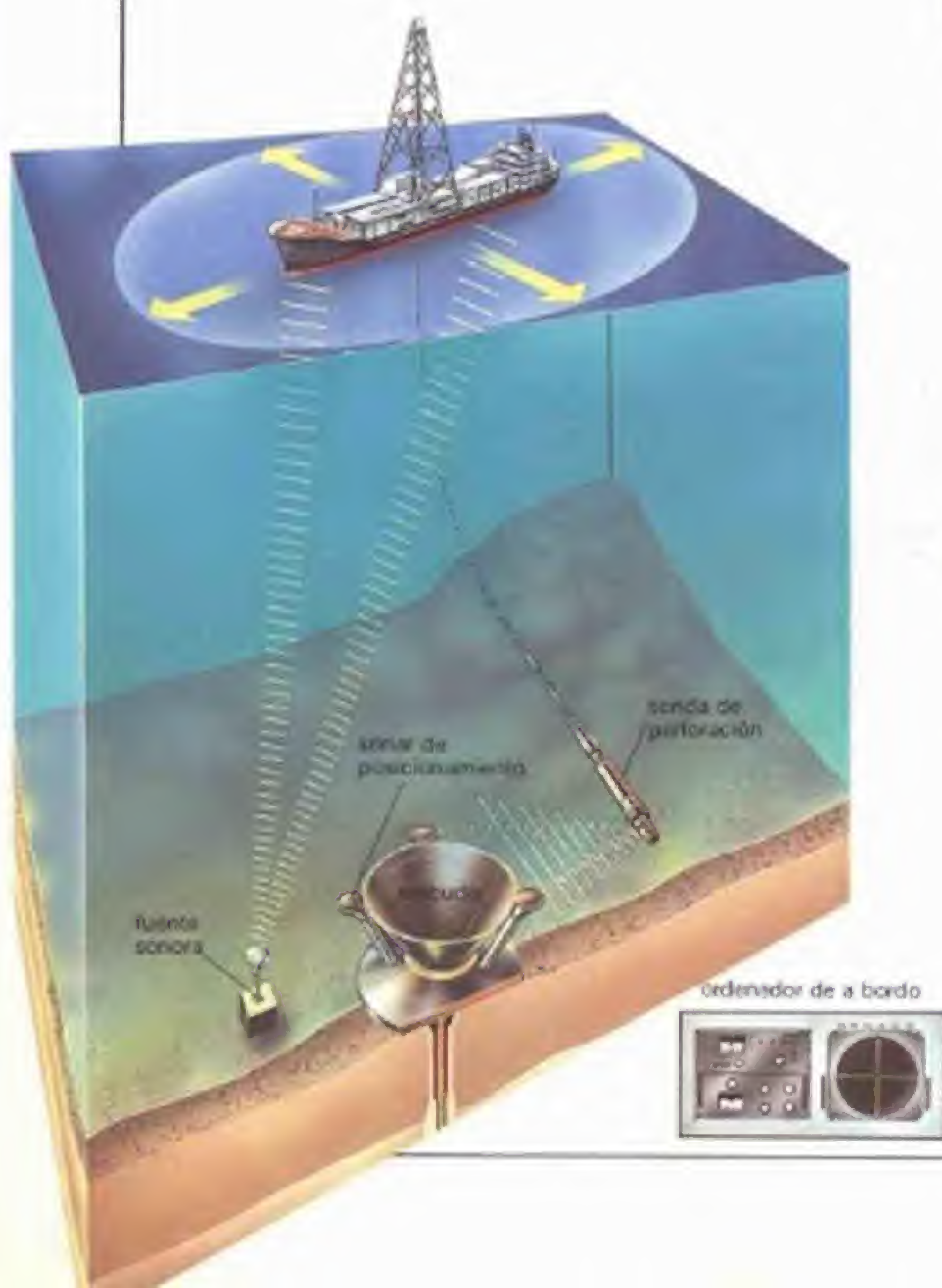
Partes del ancla El ancla está unida a la embarcación por medio de un cabo, cable o cadena. Las anclas se diseñan de forma que se claven o enganchen en el fondo del mar o de los ríos navegables al ser lanzadas por la borda. Por eso, el peso total del ancla es a veces menos importante que la disposición de las puntas en forma de flecha, llamadas *uñas*, cuya misión es agarrarse al fondo. Así, un ancla moderna de 2,3 kg de peso puede, en determinadas circunstancias, aguantar mayor esfuerzo que un bloque de hormigón de 230 kg. Las uñas están en los extremos de los brazos y van unidas al eje del ancla, llamado *caña*; la caña acaba en una argolla, que recibe el nombre de *arganeo*, donde se sujeta el cable o cadena.

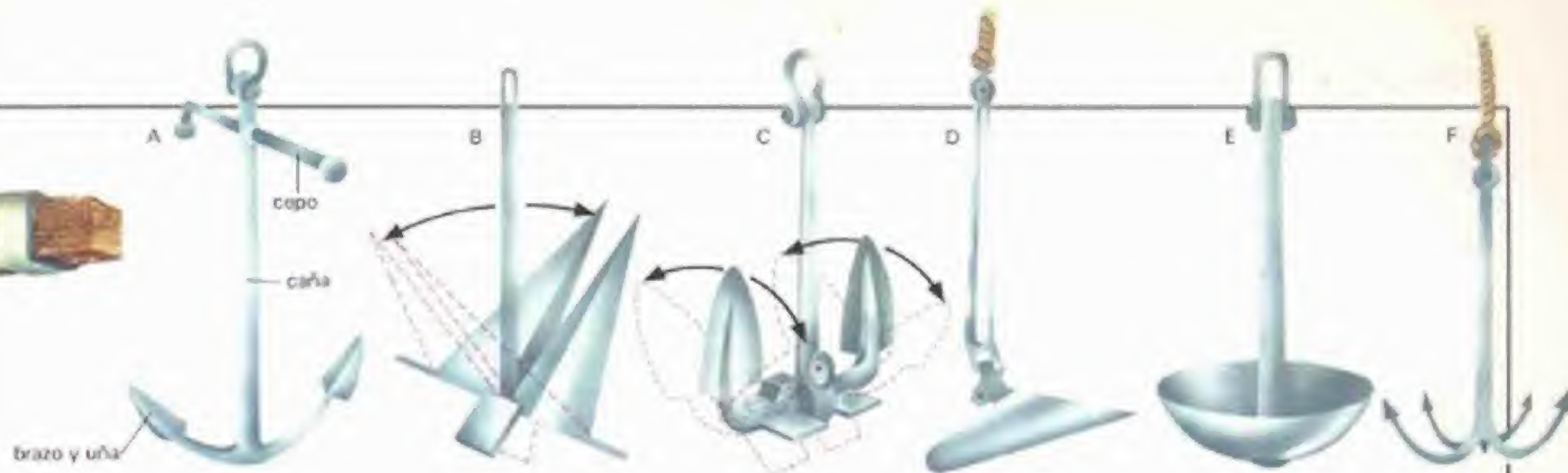
Cuando se suelta el ancla, ésta se deposita sobre el fondo. Si el barco es movido por efecto del viento o de la corriente, la cadena da un tirón y el ancla se engancha a las rocas o se hunde en la arena inmovilizándolo. El ancla debe, pues, estar dise-

Abajo, a la izquierda, el modernísimo anclaje acústico de un barco de investigación oceanográfica, en este caso el *Glomar Challenger*, dedicado al sondeo de fondos marinos profundos y a la recogida de muestras del substrato. Su complejo sistema de posicionamiento consta de una computadora que analiza las señales enviadas por el *sonar* hundido en el mar y mantiene fijo el barco en el punto elegido para el sondeo. La computadora también guía la sonda de perforación, que efectuará la toma de la muestra en el embudo sumergido en el fondo y mantenido en posición por el *sonar*.

En el esquema de abajo se representa una forma de anclar y de disponer la longitud de la cadena. La embarcación deja caer verticalmente el ancla (en la figura A) sobre un punto en el que no interfiere con otros obstáculos y donde tendrá buen agarre. Entonces, el barco retrocede soltando cadena por el escobén y se para (en la figura B). Para izar el ancla, la embarcación avanza hacia ella recogiendo cadena hasta que el ancla es elevada completamente. En la figura C, se utiliza una boya sujeta con un cable o cadena a la cabeza del ancla para sacarla más fácilmente si se hunde en el fondo.

No existe un tipo de ancla que pueda ser adaptada perfectamente a toda clase de fondos ni para todas las dimensiones de barcos. Por eso, a lo largo del tiempo se han ido desarrollando modelos nuevos. A la izquierda, un ancla antigua de cepo de madera. En la página de al lado, arriba, el tipo almirante (A), de uso general; la Danforth (B), adaptada a fondos arenosos o blandos; la Hall (C), usada por grandes barcos y por los barcos de guerra; el ancla de arado (D) y de hongo (E), adaptadas a los fondos de arena y barro; y, por último, el clásico rezón de cuatro uñas y sin cepo (F).





fiada para aguantar los tirones y esfuerzos transmitidos por el barco.

Tipos de ancla Los tres tipos fundamentales de anclas usados en la actualidad son: el *ancla de cepo* —fijo o móvil—, el *ancla sin cepo* y el *ancla de arado*. La característica que define al primer tipo es un trozo de madera, llamado *cepo*, fijado a la caña junto al arganeo y perpendicular a ella. Este tipo de ancla fue diseñado de modo que el cepo quedara plano, apoyado en el fondo marino, obligando a los brazos a adoptar una posición favorable para anclarse; al ser voluminosa y poco manejable, sobre todo la de cepo fijo, no suele ser usada en embarcaciones deportivas.

El *ancla sin cepo* es el tipo más difundido en todo el mundo. En ella, la función que desempeña el cepo —situar los brazos en su mejor posición para sujetarse al fondo— está encomendada a una barra que discurre por el extremo de la caña y a la que están fijados dos brazos, largos y afilados, uno a cada lado de la caña. Esta barra puede girar sobre su eje hasta 35° a ambos lados de la caña.

Este tipo de ancla reposa inicialmente en el fondo. En el momento que el barco tira, las patas giran hacia abajo y se clavan en el suelo. El ancla sin cepo está diseñada para enterrarse del todo en el fondo, junto con parte de la cadena, si se tira de ella con fuerza suficiente.

El *ancla de arado* recibe este nombre porque sus brazos en forma de V se asemejan a la reja de un arado. Cuando la cadena da un tirón, el ancla comienza a clavarse en el suelo. También ésta llega algunas veces a clavarse completamente.

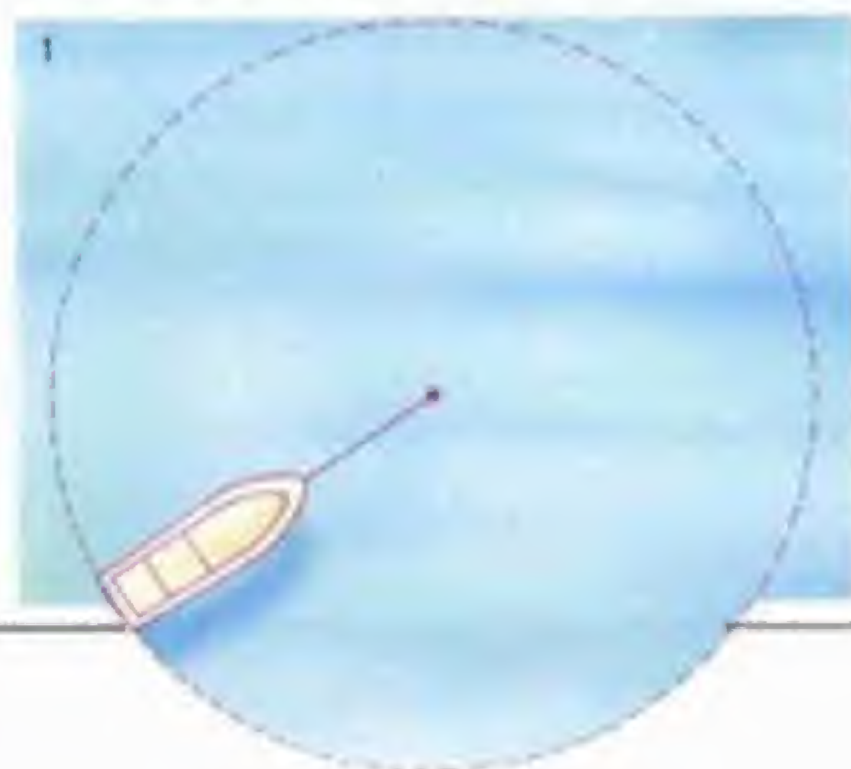
Existen otros tipos de ancla diseñados para otras misiones que no son las de evitar que un barco vaya a la deriva durante las paradas temporales. El ancla tipo *hongo* está formada por una caña unida al interior de una cúpula o recipiente metálico. Cuando esta cúpula se hunde en el fango o en la arena, resulta muy difícil retirarla. Las anclas de este tipo se usan frecuentemente para los anclajes permanentes, como los necesarios para las boyas de faro o las plataformas de perforación petrolífera. Las anclas *flotantes* no tienen ningún contacto con el fondo; están hechas con un tejido grueso y tienen forma de manga de viento o pequeño paracaídas. Cuando se arrojan al mar, tienen la misión de mantener parado el barco y situarlo en la dirección del viento. El ancla flotante constituye una eficaz ayuda en caso de emergencia, sobre todo para las embarcaciones deportivas.

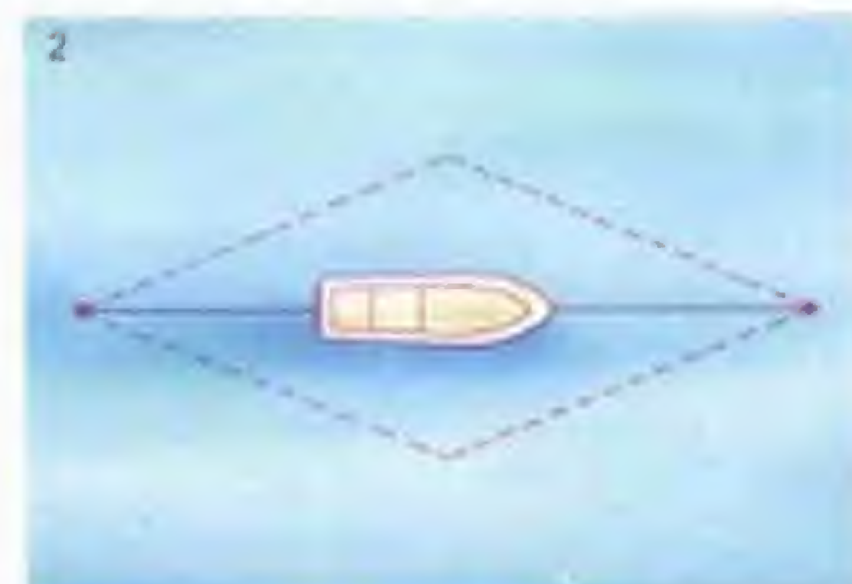
Los barcos de gran tonelaje suelen llevar varias anclas, por lo menos dos a proa (una se llama *de uso*, para cuando hace buen tiempo, y otra más pesada o *de esperanza* para cuando el tiempo es tempestuoso), y una a popa, que se lanza cuando se quiere inmovilizar el barco completamente.

En los últimos años se han desarrollado nuevos modelos de anclas para estructuras gigantes, como son las plataformas de perforación y extracción petrolífera, que deben permanecer ancladas durante largos períodos de tiempo en un punto establecido. En las técnicas de anclaje de estas plataformas se utilizan pilares que van clavados, barrenados o atornillados en el fondo marino. Estas operaciones se efectúan normalmente con la ayuda de martillos de aire comprimido o chorros de aire a varios miles de metros bajo el nivel del mar. Si el agua es muy profunda o el fondo es demasiado blando para usar esa técnica, las plataformas marinas se pueden anclar utilizando un método conocido como *posicionamiento dinámico*. En la plataforma se coloca un aparato que fija la posición, junto a una serie de operadores electrónicos y un juego de hélices capaz de mover la plataforma en todas direcciones. El aparato que fija la posición cuenta normalmente con la ayuda de un transmisor electrónico situado en el fondo del mar. Cuando el aparato que fija la posición nota que ésta ha cambiado, los operadores transmiten señales a las hélices indicadas, para volver a situar la plataforma en la posición justa.

Véase **Buque de guerra; Buque mercante; Buque oceanográfico; Naval, construcción; Navegación**

El anclaje es estudiado con cuidado y, si se debe permanecer en el mismo sitio largo tiempo, es necesario controlarlo y, eventualmente, modificarlo. De hecho, la embarcación sujeta sólo por un ancla (figura 1) será empujada por el viento y la corriente en dirección opuesta a la de ellos. Si cambian, la embarcación girará describiendo una circunferencia con centro en el ancla. Se debe cuidar que el movimiento no lleve al barco a chocar contra algún obstáculo. En el caso de que esto pueda ocurrir, será necesario poner dos anclas, una a proa y otra a popa (figura 2). Entonces la embarcación puede moverse dentro del rombo (a trazos), igual que se movía dentro del círculo cuando estaba sujeta por una única ancla. Puede extrañar que exista la posibilidad de ese movimiento, ya que en el dibujo las dos cadenas parecen estar tensas; pero si observáramos un plano vertical, veríamos ambas cadenas curvas, de modo que esta holgura permite el movimiento. En la figura 3 se indica la forma de anclaje para atracar en el muelle de un puerto. El barco se acerca al muelle de proa y al llegar al punto en que puede tirar el ancla, gira y la deja caer. Desde aquí retrocede lentamente soltando cadena hasta que puede enganchar las amarras a las bitas; después no hay más que tirar de la cadena y se tensan las amarras.







Anestesia

El día 30 de septiembre de 1846 Eben H. Frost se hizo extraer un diente por William Thomas Morton, un dentista de Boston. En una declaración llevada a cabo bajo juramento y en presencia de testigos, Frost afirmó que, sorprendentemente, la extracción no le había producido ningún dolor. Alrededor de una semana más tarde, Morton repitió este procedimiento en la primera demostración pública de cirugía bajo anestesia (esto es, la total o parcial ausencia de sensibilidad) en el Hospital General de Massachusetts. El procedimiento adoptado por Morton era la inhalación de éter, gracias a lo cual el paciente introduce este compuesto volátil del carbono en su torrente circulatorio, de modo similar a la introducción de oxígeno en el organismo, es decir, respirándolo.

Aunque hoy día el éter sea generalmente considerado como una sustancia demasiado fácilmente inflamable para un uso hospitalario regular, la *anestesia por inhalación* es todavía una de las formas más habituales de anestesia. En la práctica clínica, la anestesia es realizada por personal médico altamente especializado, que se vale del auxilio de materiales y aparatos muy perfeccionados.

Anestesia por inhalación Con el objeto de preparar a un paciente para una profunda anestesia quirúrgica, se le suele administrar un sedante o un fármaco relajante, muscular casi siempre, por lo general un barbitúrico: esta es la fase considerada de preanestesia preparatoria. A continuación se le introduce un tubo en la tráquea con el fin de mantener abiertas las vías respiratorias y de ayudar a los pulmones a respirar a pesar de su estado de relajación. Un vaporizador (instrumento que sirve para transformar los líquidos en vapores para la inhalación) proporciona una mezcla de anestésico volátil (fácilmente transformable en vapor) y de oxígeno a través de una máscara que se adapta a la boca y a la nariz del paciente. El anestesista que suministra el anestésico vigila cuidadosamente, mediante instrumentos adecuados, el ritmo de la respiración y del latido cardíaco del paciente y regula continuamente la mezcla de anestésico y de oxígeno para mantener un adecuado nivel de anestesia.

La anestesia por inhalación varía con arreglo a la cantidad de anestésico que se administra y a la duración de la administración. En general, el paciente sometido a este tipo de anestesia atraviesa cuatro fases o etapas:

I) *Analgesia*. Durante esta fase el paciente aún permanece consciente, aunque la sensación de dolor se halla disminuida. El paciente se relaja y su corazón comienza a latir algo más lentamente.

II) *Delirio*. En esta etapa el paciente está inconsciente. Sus respuestas son incoherentes y puede reaccionar a los estímulos de modo desproporcionado.

III) *Anestesia quirúrgica*. Esta es la etapa en la cual se llevan a cabo la mayor parte de las intervenciones quirúrgicas. El paciente permanece inconsciente y no responde al dolor. Su corazón ha disminuido ulteriormente su frecuencia, su respiración es regular y sus músculos están relajados.

IV) *Depresión medular*. Durante esta fase el corazón ha disminuido su frecuencia de latidos, hasta tal punto que existe el peligro de una definitiva parada cardíaca.

Existen algunas diferencias entre las cuatro etapas, de acuerdo con el tipo de gas anestésico que se utilice. El éter es solamente uno entre los diversos anestésicos líquidos volátiles; otros tipos comprenden el protóxido de nitrógeno (*gas hilarante*), el cloroformo y el halotano. Todos producen pérdida de la conciencia o sueño.

Otros anestésicos Existen muchos anestésicos que pueden ser administrados por vía oral (por la boca), intravenosa (mediante introducción en una vena) o intramuscular (mediante inyección en el tejido muscular), para reducir la sensación de dolor. Estos fármacos son comúnmente llamados *analgésicos* y no provocan sueño.

Los fármacos de tipo *narcótico* constituyen por sí mismos una amplia categoría de anestésicos. Los dos principales narcóticos, la codeína y la morfina, son derivados del opio (como todos los narcóticos). El opio es un producto del jugo lechoso que se encuentra en una porción de la adormidera del opio, justamente debajo de los pétalos. El cerebro humano parece tener una afinidad especial hacia el opio, y es muy fácil para una persona que lo consuma repetidamente el convertirse en adicto.

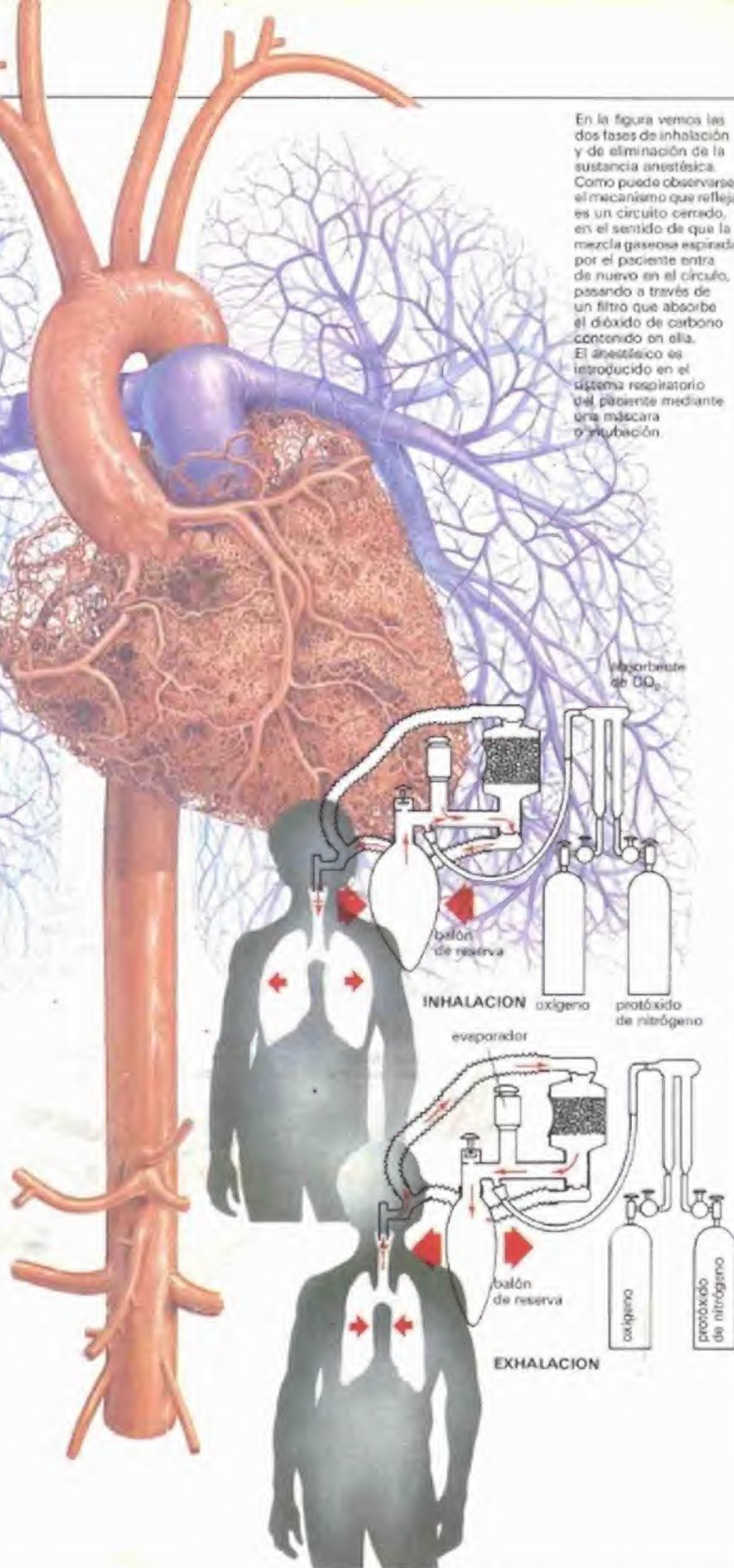
En casos particulares, como por ejemplo en el parto, cuando es preferible que el paciente permanezca despierto y consciente, pero es al mismo tiempo necesario bloquear el dolor, se puede utilizar la *raquianestesia* o anestesia espinal. Esto significa que una solución anestésica se inyecta directamente en el fluido de la cavidad que existe en el interior de la columna vertebral.

Anestesia natural La total ausencia de sensaciones, como fenómeno que se manifiesta de modo espontáneo, es extremadamente rara. Sin embargo, cierto número de personas nace sin la capacidad de experimentar dolor. Contrariamente a lo que se podría imaginar, estas personas no son enteramente afortunadas. Pueden, en efecto, provocarse lesiones graves, en particular heridas y quemaduras, sin percibir ninguna sensación.

Otro tipo de anestesia que se manifiesta de modo natural puede sobrevenir a conti-



En la fotografía que se muestra sobre estas líneas vemos el conjunto de los instrumentos que se utilizan para la administración de la mezcla anestésica durante una intervención quirúrgica. Los distintos instrumentos se disponen previamente sobre una bandeja en el mismo orden con el que serán utilizados por el anestesista. Podemos ver cómo los diseñadores de esta instrumentación se han esforzado en construir aparatos cuyo reconocimiento sea inmediato y cuyo uso sea seguro y fácil. He aquí, por lo tanto, la necesidad de tener a disposición pinzas para abrir la boca y para sacar la lengua, y de cánulas para bajar la lengua con el objeto de obtener la máxima apertura bucal y traqueal. Arriba y a la izquierda vemos una clásica máscara, mientras que en el centro observamos tres tipos de intubación traqueal apropiados para cirugía pulmonar. A la derecha, finalmente, un laringoscopio con tres hojas intercambiables de acero inoxidable. En la página siguiente se representa el árbol circulatorio cardiopulmonar. Dado que el anestésico tiene una actividad depresiva a nivel del sistema nervioso central, uno de los cometidos del anestesista lo constituye la evaluación de la capacidad que tenga el corazón del paciente para soportar la mencionada depresión.



En la figura vemos las dos fases de inhalación y de eliminación de la sustancia anestésica. Como puede observarse, el mecanismo que refleja es un circuito cerrado, en el sentido de que la mezcla gaseosa espirada por el paciente entra de nuevo en el circuito, pasando a través de un filtro que absorbe el dióxido de carbono contenido en ella. El anestésico es introducido en el sistema respiratorio del paciente mediante una máscara o intubación.

nuación de una experiencia traumática, tal como un accidente automovilístico o una herida de guerra. Se han dado casos de personas con lesiones extensas que no manifiestan ningún tipo de dolor.

En ausencia de lesiones corporales, la anestesia puede resultar también de los efectos inconscientes de la ansiedad y del *stress*, bajo la forma de síntomas nerviosos propios de la histeria. La *anestesia histérica* es una grave alteración que puede durar desde pocos momentos hasta meses o años. Es un trastorno generalmente tratado como una enfermedad mental.

Uno de los curiosos efectos de la anestesia es el hecho de que por lo regular el paciente no recuerda lo que ha experimentado cuando estaba sometido a los efectos de aquélla, pero recuerda una sensación placentera de sueño sobrevenida justamente antes de que acaeciera la pérdida de la conciencia.

La posibilidad de tolerar las intervenciones quirúrgicas sin *stress* mental y sin dolor físico ha cambiado por completo la historia de la Medicina. Largos tratamientos que en otro tiempo habrían sido insoportables son hoy día operaciones comunes que pueden salvar una vida. El desarrollo de la anestesia ha tenido también un profundo efecto sobre la historia de nuestra cultura, ya que ha demostrado que el dolor y el sufrimiento no son necesariamente condiciones inevitables de nuestra existencia.

Véase **Analgésicos; Cirugía**

Anillo bencénico

En 1865 el químico alemán Friedrich August Kekulé trabajaba asiduamente sobre un espinoso problema. Se sabía que la molécula del benceno, una sustancia química compuesta por carbono e hidrógeno, descubierta en 1825 por el científico inglés Michael Faraday, contenía seis átomos de carbono y seis átomos de hidrógeno, como indicaba su fórmula empírica C_6H_6 (una fórmula empírica indica simplemente el número de átomos de cada elemento en la molécula, mientras que una fórmula estructural muestra de qué manera estos átomos están dispuestos en la molécula). En el hidrocarburo hexano se puede ver cómo los átomos de carbono están unidos en cadena: cada átomo de carbono aparece ligado a dos átomos de hidrógeno y con dos átomos de hidrógeno en las extremidades de la cadena, C_6H_{14}.

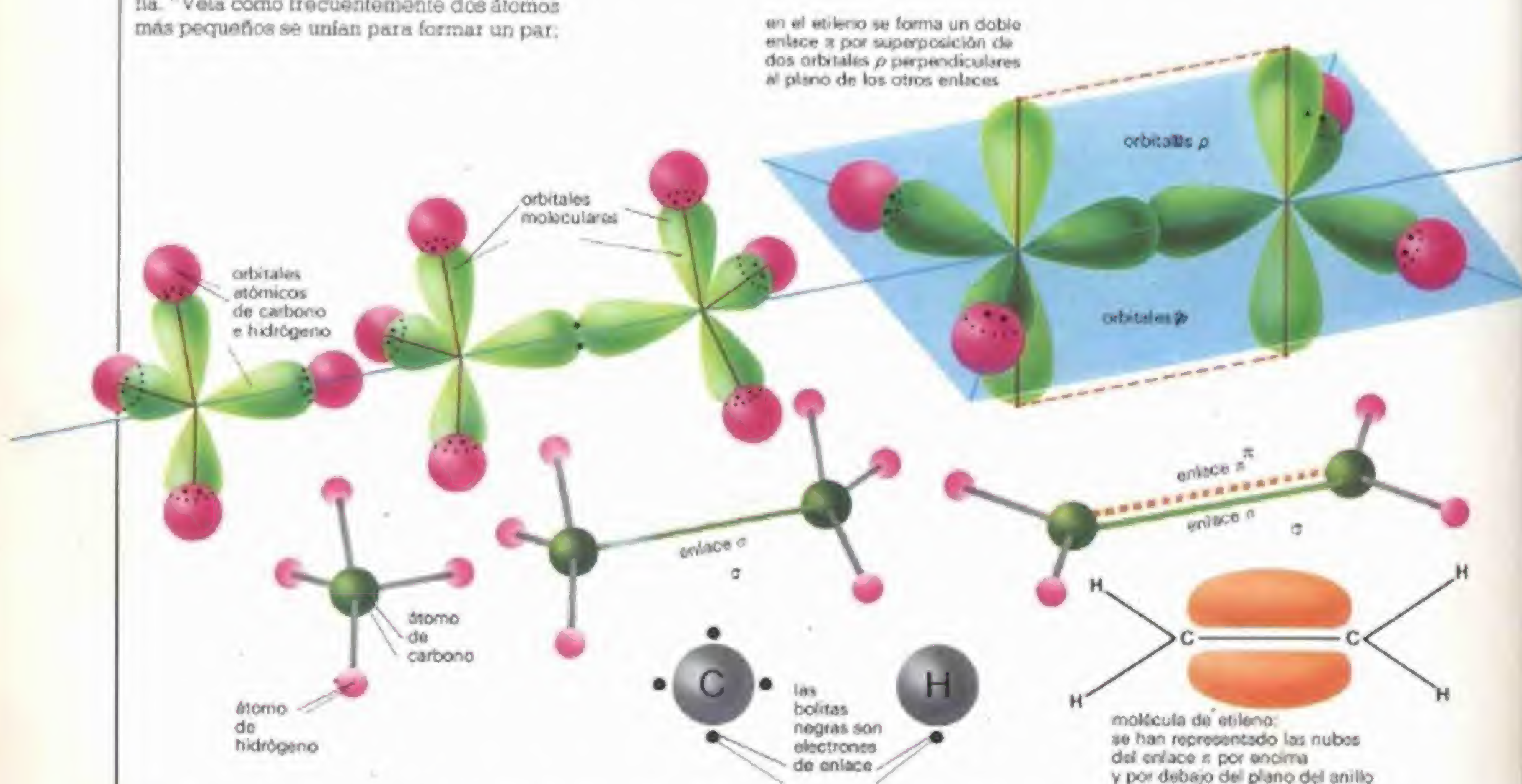
El problema de Kekulé era el de configurar la fórmula del benceno, en la cual hay el mismo número de átomos de carbono que de hidrógeno. El había pensado tan intensamente en este problema, que a veces le parecía como si los átomos bailasen delante de sus ojos. "Caí en un estado de sueño y los átomos saltaban delante de mis ojos", escribió Kekulé en su autobiografía. "Veía cómo frecuentemente dos átomos más pequeños se unían para formar un par: cómo a uno más grande le circundaban dos más pequeños; cómo átomos todavía más grandes poseían tres e incluso cuatro más pequeños; mientras que el conjunto giraba rápidamente en una danza vertiginosa. Veía cómo los más grandes formaban una cadena". Cuando se despertó, hizo un apunte de las distintas posiciones de los átomos bailantes que había visto en el sueño. Más adelante, otra noche, vio nuevamente en sueños los átomos bailantes como la vez anterior. Pero esta vez aparecieron solamente los átomos más grandes, los átomos de carbono, en largas filas: "todos se torcían y se entrelazaban con un movimiento parecido al de las serpientes. ¡Pero fíjate lo que sucedía! Una de las 'serpientes' agarraba su misma cola y la forma resultante giraba rápidamente burlándose delante de mis ojos". De esta manera Kekulé comprendió por fin cómo los doce átomos, mitad de carbono y mitad de hidrógeno, estaban dispuestos en la forma conocida como *anillo bencénico*.

El descubrimiento de Kekulé representó un asombroso avance que sentó las bases indispensables para el desarrollo de la Química orgánica, rama que se ocupa de los compuestos del carbono. Abrió también las puertas al estudio de centenares de miles de *compuestos aromáticos*, los cuales son en su mayoría compuestos con estructura en anillo, a diferencia de los *compuestos alifáticos*, formados principalmente por cadenas lineales o ramificadas de átomos de carbono (en realidad, el problema de si un compuesto es aromático o alifático es bastante complejo y depende de la distribución de los electrones en los átomos que forman las moléculas del compuesto).

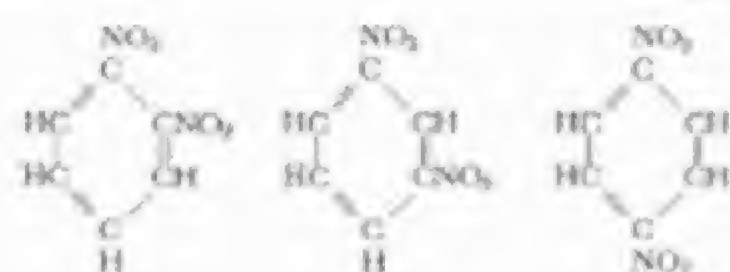
Cada elemento posee una determinada capacidad de combinarse, o *valencia*, es decir, una tendencia a efectuar uniones con átomos de otros elementos que tengan la misma o distinta capacidad de combinarse. Por ejemplo: el hidrógeno tiene valencia 1; el carbono, valencia 4; el oxígeno, valencia 8, y así sucesivamente. Estas valencias se representan en las fórmulas estructurales por medio de líneas rectas. En la fórmula del hexano se puede ver cómo el sistema de las valencias actúa en un compuesto simple de cadena lineal. En el anillo bencénico de Kekulé, las dobles líneas representan dobles enlaces, y en el anillo de seis lados se necesitan tres pares de ellos para contabilizar los enlaces de valencia existentes en los seis átomos de carbono y en los seis átomos de hidrógeno. La teoría moderna de la valencia afirma que en realidad los enlaces que unen los átomos de carbono son todos iguales o casi iguales, pero el modelo de Kekulé es todavía útil y los químicos orgánicos lo utilizan por comodidad en sus estudios.

La gran importancia del anillo bencénico reside en que sustituyendo uno o más átomos de hidrógeno por otros átomos o grupos de átomos, y combinando entre sí dos o más anillos, se puede obtener un gran número de compuestos aromáticos.

Si se sustituye un solo átomo de hidrógeno del anillo por otro átomo o por un grupo de átomos que actúa como un solo átomo, no tiene importancia cuál de los seis átomos de hidrógeno del anillo se haya sustituido, ya que cada uno de ellos está situado entre un enlace simple y uno doble. Sin embargo, si se sustituyen dos de los átomos de hidrógeno, esta sustitución se puede hacer en tres diferentes posiciones, creando así



tres formas distintas del mismo compuesto (estas diferentes configuraciones de un mismo compuesto se llaman *isómeros*). Podemos ilustrar los isómeros de los compuestos orgánicos por medio de los siguientes tipos del compuesto llamado dinitrobenceno, en el cual dos grupos nítricos NO_2 pueden situarse en tres distintas posiciones que se denominan, de izquierda a derecha, orto-dinitrobenceno, meta-dinitrobenceno y para-dinitrobenceno (*orto* significa "recto", *meta* significa "entre" o "después" y *para* significa "al lado de"):



El mismo método se ha utilizado para denominar todos los compuestos aromáticos en los cuales dos átomos de hidrógeno del anillo son sustituidos por dos átomos o grupos de átomos. Otro sistema para denominar estos isómeros es el de utilizar unos números para indicar cuál de los átomos de hidrógeno ha sido sustituido (tales átomos se numeran siguiendo el sentido de las agujas del reloj, empezando por el átomo de hidrógeno situado en la parte superior del anillo bencénico); en este sistema los isómeros *orto*, *meta* y *para* se indican respectivamente como 1,2-dinitrobenceno, 1,3-dinitrobenceno y 1,4-dinitrobenceno. Estos isómeros tienen muchas cualidades en común y no pocas que difieren, típico ejemplo de cómo pueden ser distintas las propiedades de compuestos con la misma fórmula empírica pero con diferentes fórmulas estructurales. Este fenómeno se llama resonancia o *mesomería*.

Véase **Enlace químico y valencia**

molécula de benceno

I

II

principales fórmulas de resonancia

estructura que resulta de la deslocalización de los dobles enlaces

molécula de benceno con las nubes de los enlaces π por encima y por debajo del plano del anillo

fórmulas de resonancia secundarias

III

IV

V

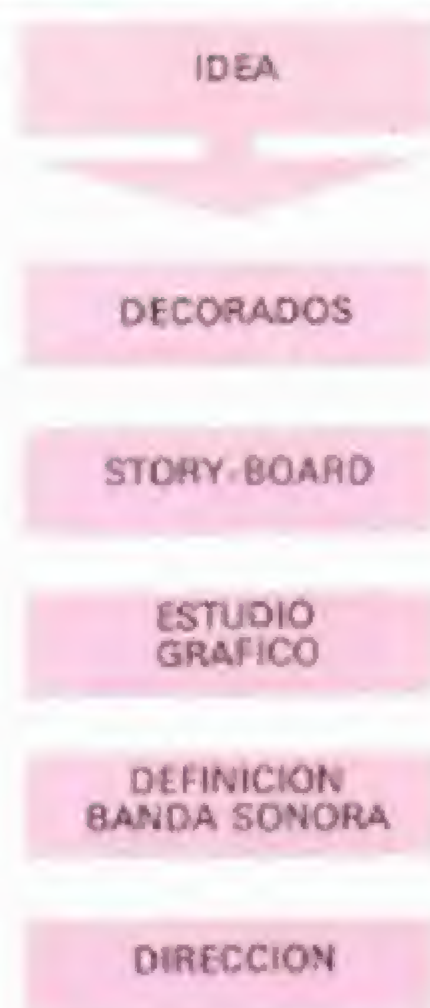
Los elementos tienden, en sus combinaciones, a asumir lo más posible la configuración electrónica exterior estable de los gases nobles. El átomo de carbono, que tiene cuatro electrones exteriores, la mitad que el correspondiente gas noble neón, puede adquirir los que le faltan poniendo en común los suyos con otros átomos de carbono y de nitrógeno. Así se forman los hidrocarburos. En la serie de los alcanos cada átomo de carbono se enlaza por medio de cuatro enlaces covalentes *simples* con otros átomos: como consecuencia, cuatro parejas de electrones se sitúan en cuatro orbitales "fusiformes" dirigidos hacia los vértices de un tetraedro. En la serie de los alquenos, entre los que se encuentra el etileno, aparecen los *dobles enlaces*: a tres enlaces simples situados en un mismo plano se añade un enlace doble, compuesto por la superposición de dos orbitales, llamados *p*, que alojan los electrones "solitarios". En la serie de los hidrocarburos aromáticos o *arenos*, cuyo primer elemento es el benceno, las cosas cambian radicalmente: seis átomos de carbono se unen en anillo, manteniendo una disposición de los orbitales parecida a la del etileno. De todo ello resulta una estructura hexagonal (con un átomo de hidrógeno localizado en cada vértice) a lo largo de la cual "corre", por encima y por debajo, una especie de doble enlace "continuo" o deslocalizado. Esta particular configuración es la que más fielmente refleja los hechos experimentales, según los cuales resulta que el benceno tiene seis enlaces idénticos carbono-carbono en vez de tres dobles y tres simples. Esto significa que la auténtica estructura de las moléculas de benceno es intermedia o híbrida respecto a los modelos I y II. Posibles estructuras de resonancia, aunque menos importantes, son los III, IV y V.

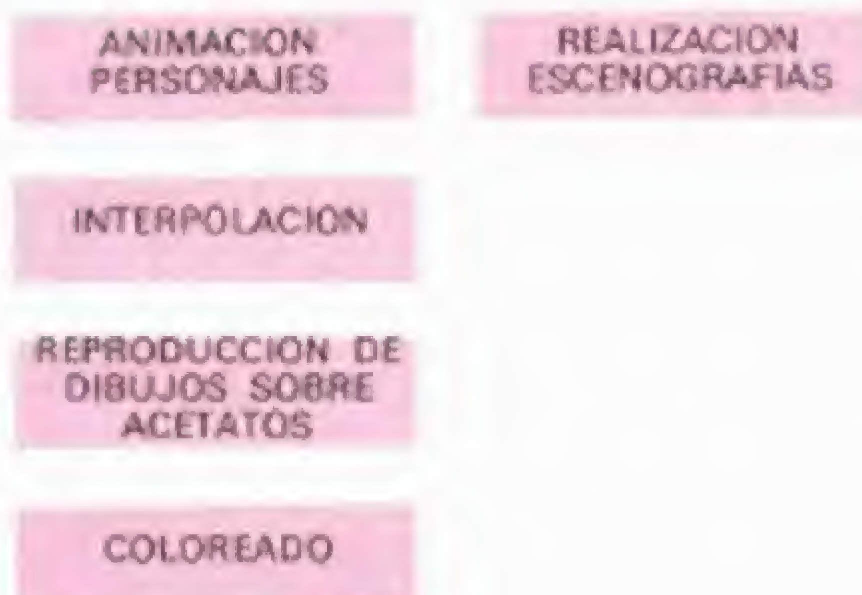
Animación cinematográfica

En 1892, el público del *Théâtre Optique* de París quedó sorprendido al ver cómo unos dibujos se movían y animaban hasta parecer vivos al ser proyectados sobre una pantalla; y es que no estaba habituado aún a tal espectáculo, puesto que los primeros dibujos animados fruto de la inventiva del francés Emile Reynaud se conocieron años antes que la invención del cinematógrafo.

Los dibujos animados constituyen en realidad un tipo particular de película cinematográfica. Ambos consisten en una serie de imágenes fijas que al ser proyectadas sucesivamente con una velocidad de 24 fotogramas por segundo se perciben sin solución de continuidad. Ese "encadenamiento" de imágenes es el que genera la ilusión óptica de movimiento. Cuando se filma una escena de forma convencional, la cámara funciona de forma constante, registrando los movimientos de personas y cosas tal y como suceden. Para realizar una película de dibujos animados, en cambio, se realizan series de dibujos formando secuencias que descomponen el movimiento en sus posiciones o instantes más significativos. Cuando se proyectan a la velocidad antes dicha, los dibujos no se perciben separadamente, sino como un *continuum*.

Uno de los ejemplos más sencillos que, aunque de forma burda, ilustra cómo una sucesión de imágenes estáticas puede ser vista como si se tratase de un movimiento consiste en dibujar en el borde de algunas páginas consecutivas de un libro varias figuras sencillas y semejantes, cada una de las cuales es ligeramente diferente de la anterior. Así, si se quiere representar a un hombre que camina, se dibujarán las piernas ligeramente más adelantadas que en la página precedente; pasando rápidamente las páginas se tendrá la impresión de que la figura se mueve.



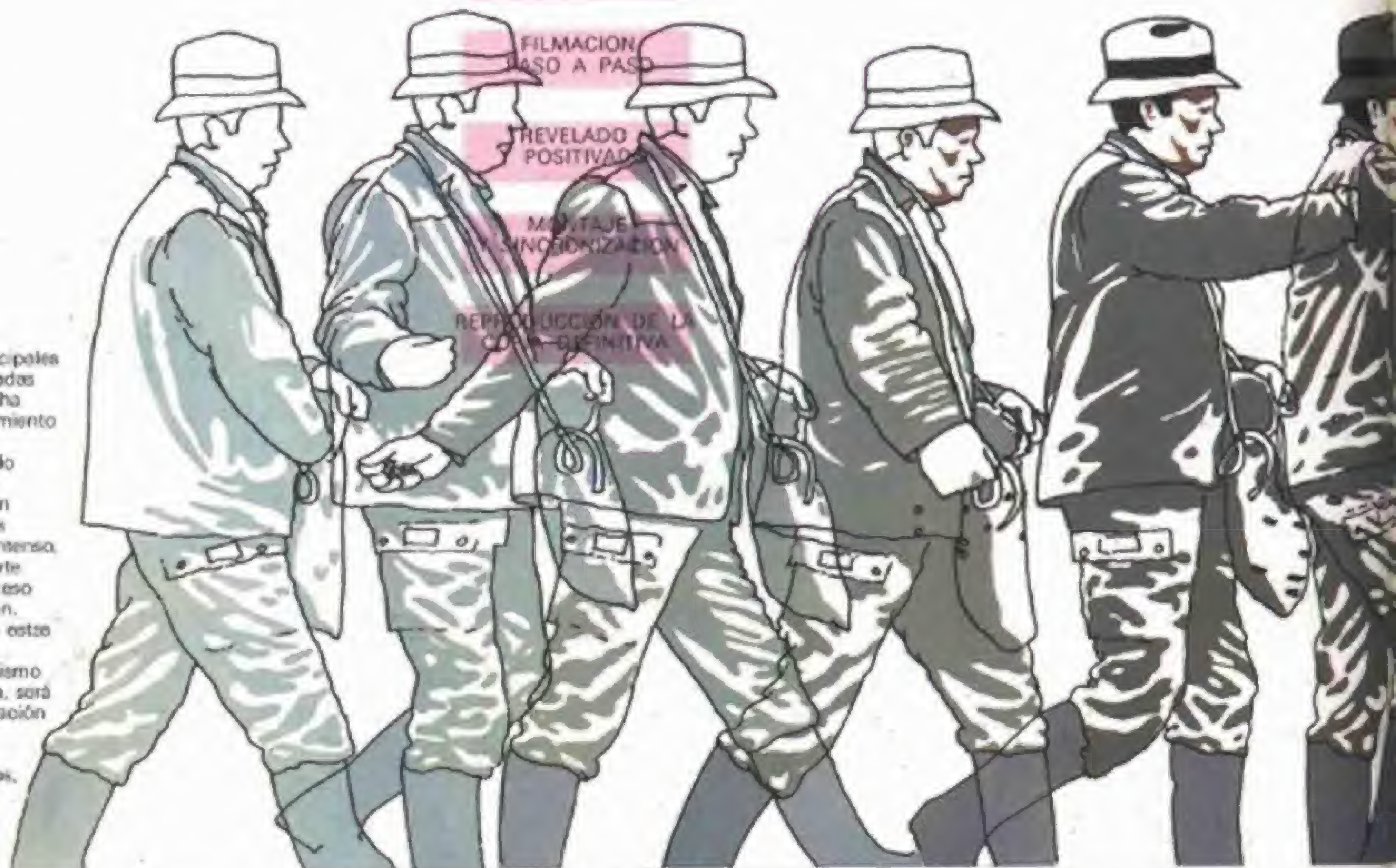






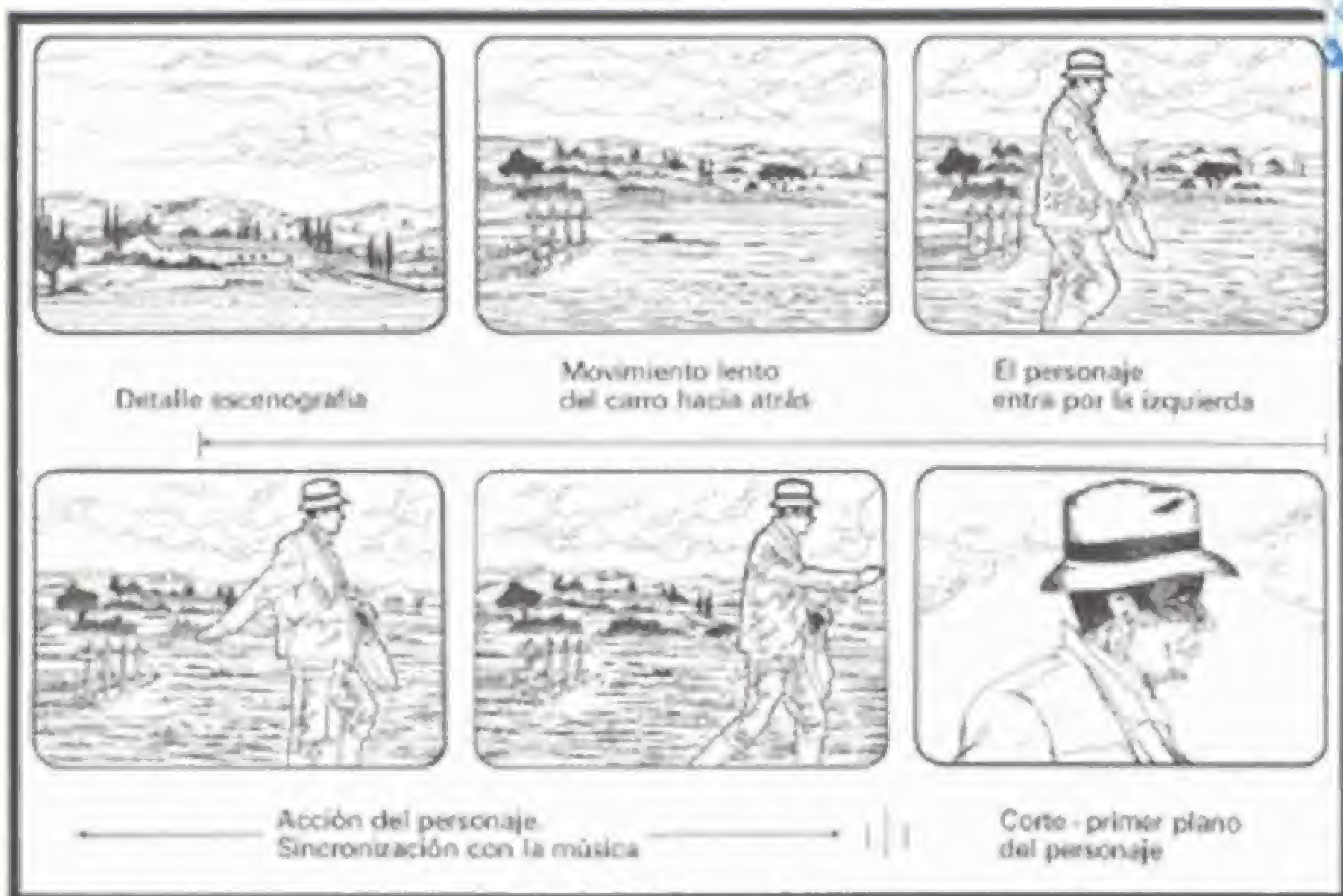
Sin embargo, la realización de dibujos animados exige un proceso mucho más complejo, que requiere la intervención de un equipo de artistas y técnicos cualificados. Por otra parte, las fases del trabajo son muchas, y es necesaria una buena organización que permita desarrollar el proceso sin errores u omisiones y con el menor coste posible. Las principales fases son las siguientes:

- Ante todo, es preciso concebir una idea y desarrollarla paso a paso en un *guión*, en el que se describen el argumento, los personajes, las acciones y los ambientes, recogiendo también los diálogos, efectos sonoros, etcétera.
- A continuación, se define cada uno de los encuadres principales, hasta llegar al diseño del *story-board*.
- Otra tarea consiste en dotar de personalidad propia a cada personaje, a cada objeto, a cada ambiente, estudiando meticulosamente los caracteres propios del lugar y tiempo en que se desarrolla la acción, evitando anacronismos que mermarían verosimilitud y calidad.



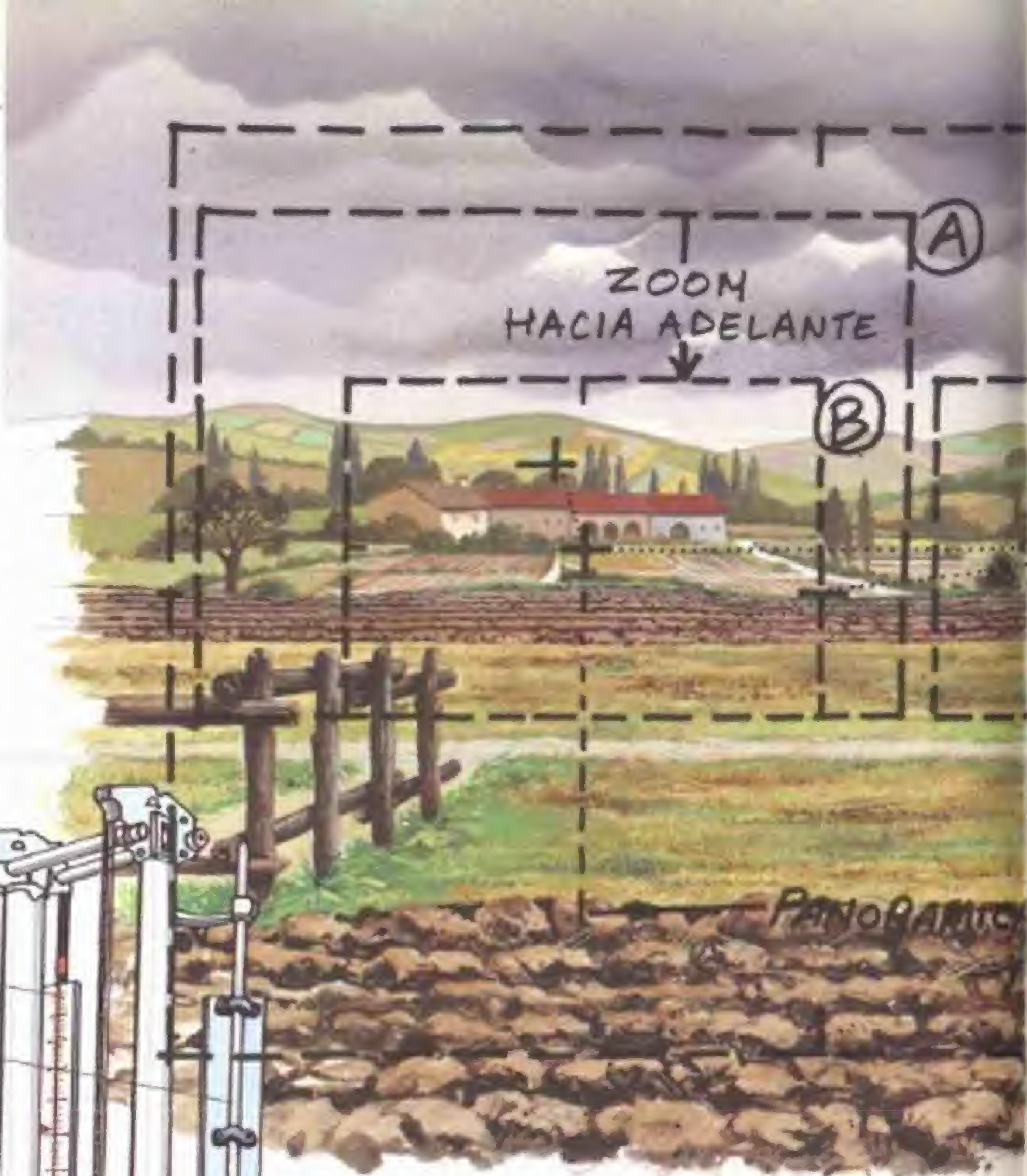
A la derecha, principales posiciones adoptadas por la figura que ha de verse en movimiento sobre el fondo. Se ha representado imaginariamente con una gradación en el color que va de difuminado a intenso, como por otra parte sucede en el proceso real de elaboración. Nótese que todas estas figuras presentan exactamente el mismo tamaño: en efecto, será en la fase de filmación cuando éstas se tomarán de cerca o de lejos, apareciendo en pantalla grandes o pequeñas.





La secuencia de arriba representa a un pelícano en vuelo. Se puede ver cómo el cuerpo y la cabeza permanecen inmóviles, mientras las alas baten el aire. La realización de esta secuencia se obtiene superponiendo el dibujo de la cabeza y el del cuerpo al de las alas, en todas las posiciones necesarias para definir su movimiento. Después, cada fotograma será tomado desde la posición adecuada para simular la distancia elegida.

El caso de la figura del hombre que esparce la simiente sobre la tierra arada es diferente, ya que se proyecta sobre un fondo elaborado anteriormente. Este fondo se recogerá luego en diferentes tomas, y cada toma desde más cerca o más lejos, para simular un efecto de acercamiento o alejamiento respecto del sujeto principal.



Arriba, el gran marco del fondo; la figura deberá ser dibujada sobre una lámina transparente; sólo de esta manera se pueden tapar los detalles sobre los que se proyecta, dejando ver lo demás. Los movimientos del zoom y los del carro tienen la función de variar el cuadro, tal y como se indica, de A a B, y de C a D, respectivamente.

• También es preciso realizar la banda sonora: voces, música y efectos especiales.

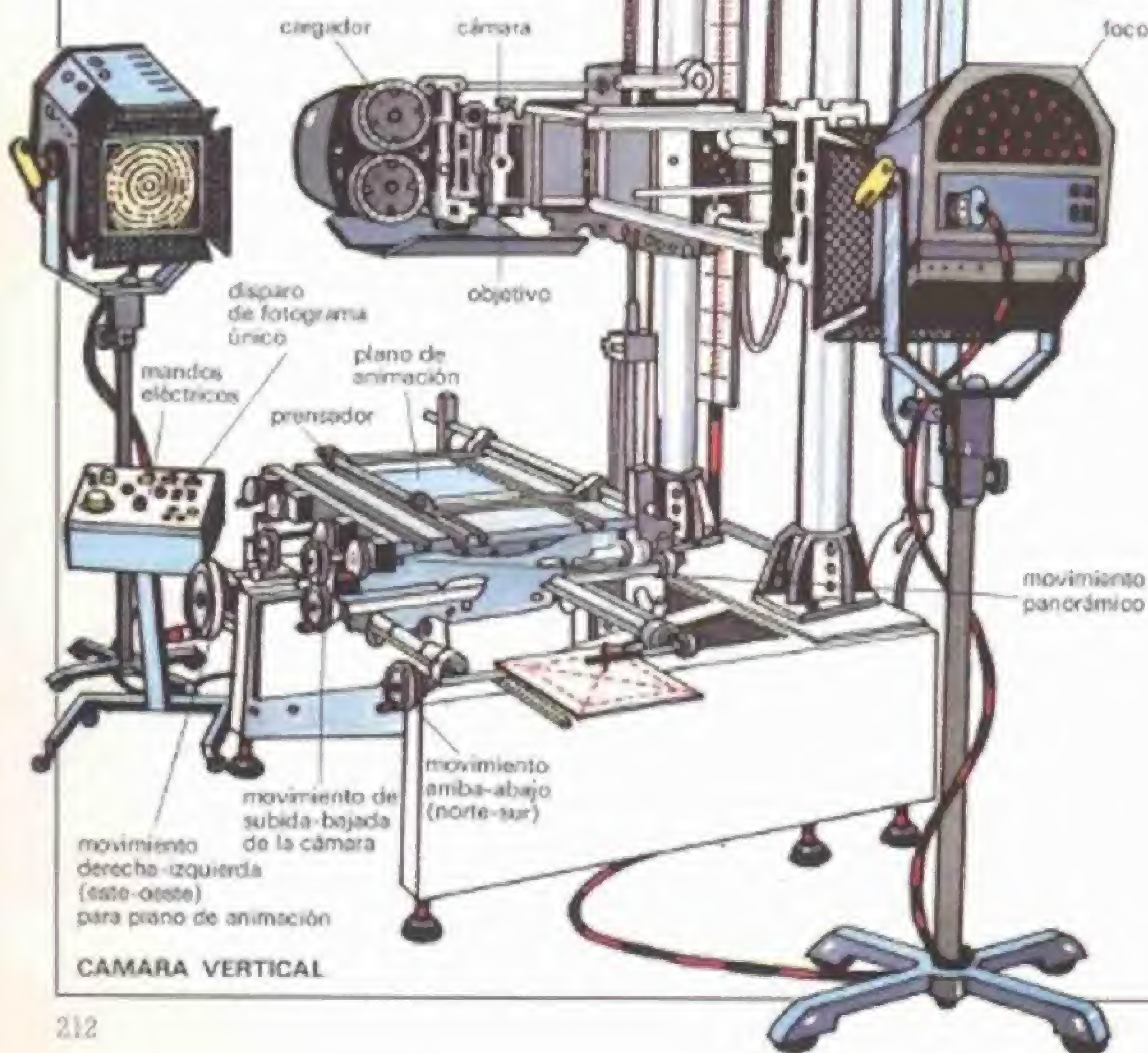
• Más tarde se encajan los encuadres y se cuantifican los tiempos para cada acción. Y, si es preciso, se realizan los decorados, a la vez que se desarrollan los personajes, es decir, se dibujan en todas las posiciones y actitudes que puedan darse según el guión.

• Posteriormente, se ejecutan los dibujos intermedios entre las diferentes posiciones principales hasta completar el desarrollo del movimiento.

• Por último, se reproducen los dibujos sobre acetato y se colorean.

Cuando se han completado todas las secuencias que desarrollan el guión, se filman con una cámara vertical. Para ello, se coloca en el plano de toma la escenografía de base a la que se le superponen de uno en uno los dibujos. Esta operación se repite tantas veces cuantas sea preciso cambiar de imagen fija de ambiente. Con estas operaciones se obtiene una película en la que cada fotograma lleva impresa una señal de identificación: proyectando la película a la velocidad antes señalada se obtiene un desarrollo del movimiento de forma fluida.

Abajo, cámara para las tomas. Entre la toma de un fotograma y la del siguiente debe transcurrir el menor tiempo posible. Los accesorios sirven para disminuir este tiempo, interviniendo además en los procesos de variación de las distancias y de centrado sobre diferentes partes del fondo, según exija el guión.



CAMARA VERTICAL

Una vez hechas las correcciones precisas, se monta el material filmado y se sincroniza con el grabado; esta fase del trabajo es idéntica, en cuanto a procedimiento, a la filmación de la realidad.

Los dibujos animados complejos se filman en *bancos de animación*, que no sólo poseen topes para alinear los dibujos, sino que además están dotados de mecanismos de precisión para mover la cámara: esto permite efectuar tomas panorámicas, picados, primeros planos, etc., sobre un único dibujo. No obstante, esta técnica también requiere filmar fotograma a fotograma; de lo contrario, y a pesar de que la cámara se desplace de forma suave, el movimiento resultante al proyectar se percibirá entrecortado. Para resolver este problema, los



bancos de animación están dotados de guías que permiten controlar con exactitud los movimientos hacia arriba y hacia abajo, así como los laterales de la cámara.

También se pueden utilizar películas vírgenes (no impresionadas) si se prefiere dibujar directamente sobre el fotograma; en este caso no es necesario ningún banco de animación, puesto que no hay nada que fotografiar. Pero dado que los fotogramas de las películas comerciales apenas tienen una anchura de 2,5 centímetros, es muy difícil ejecutar un buen dibujo, que requeriría la técnica de los miniaturistas; por ello, las imágenes así conseguidas resultan toscas cuando se proyectan; no obstante, si bien esta técnica no es adecuada para dibujos de tipo realista, sí ha sido utilizada con éxito para películas experimentales.

Animación de modelos Una técnica similar a la de los dibujos animados es la denominada de *animación de modelos* a escala, usada con frecuencia en películas de terror o de ciencia-ficción, como *King Kong*, *2001: una odisea del espacio*, o *La Guerra de las Galaxias*; en todas ellas, el director ha querido hacer aparecer en la película cosas que no existen en la realidad; por ejemplo, la versión original en blanco y negro de *King Kong* realizada en 1933 exigía determinadas escenas en las que un gigantesco gorila de alrededor de quince metros de altura destruía la ciudad de Nueva York. Para realizar esas escenas, se situó en el centro de un conjunto de maquetas de edificios a escala un modelo del voluminoso mono, que fue retratado por la cámara fotograma a fotograma, moviéndolo ligeramente entre cada toma. El resultado final fue el de una película impresionante en la que un enorme monstruo producía estragos por las calles de Nueva York.

En *La Guerra de las Galaxias* (1976), de George Lucas, la realización de los efectos especiales, básicos en esta película, se apoyó en múltiples ocasiones en la utilización de una sofisticada cámara, la Dykstraflex, que, conectada a una computadora, era capaz de realizar cientos de combinaciones ópticas.

Actores de carne y hueso Existe otra técnica muy usada, llamada *a la ridolini*, en la que los actores se mueven dando pequeños saltos, como si estuvieran borrachos o fueran autómatas, precisamente como Ridolini. Las tomas *a la ridolini* son realizadas como las efectuadas con modelos a escala, sólo que con personas reales. Y dado que un ser humano no se puede quedar quieto como un modelo inanimado, las películas *a la ridolini* se proyectan a velocidades mayores o menores de la normal, lo que puede producir imágenes trepidantes, con personas que se mueven como si fuesen muñecos articulados, a la usanza de las viejas películas.

El fotograma (arriba, en el centro) muestra el efecto de una toma combinada. Junto a él un fragmento de la película que se ha obtenido, en la que cada uno de los fotogramas es resultado de un complejo trabajo de superposición de los acetatos con las diferentes posiciones de las figuras, de la variación gradual y cuidadosamente dosificada del *zoom*, de los movimientos hacia adelante y hacia atrás de la cámara y de su recorrido a lo largo del fondo. A todo este trabajo sigue el montaje. En esta fase, parte del material filmado se desecha, seleccionando aquel que resulta más adecuado.

Véase **Animación cinematográfica por ordenador; Cámara y proyector cinematográficos; Cinematografía**

Animación cinematográfica por ordenador

Durante la década de los años setenta y el comienzo de los ochenta, muchos héroes y heroínas de películas de ciencia-ficción desarrollaban sus hazañas en *agujeros negros* del espacio, realizaban giros espectaculares en el vacío o resplandecían emitiendo energía. Naturalmente, nada de eso era real: los directores y operadores cinematográficos utilizaban *efectos especiales* para filmar la ambientación deseada. Muchos de esos efectos especiales se consiguen mediante técnicas de *animación*. Estas técnicas, hasta hace poco tiempo manuales, se han visto profundamente revolucionadas con la utilización de ordenadores. La *animación mediante ordenador*, es decir, usando una pantalla de televisión conectada a un ordenador para crear imágenes, constituye una de las más grandes innovaciones en este campo.

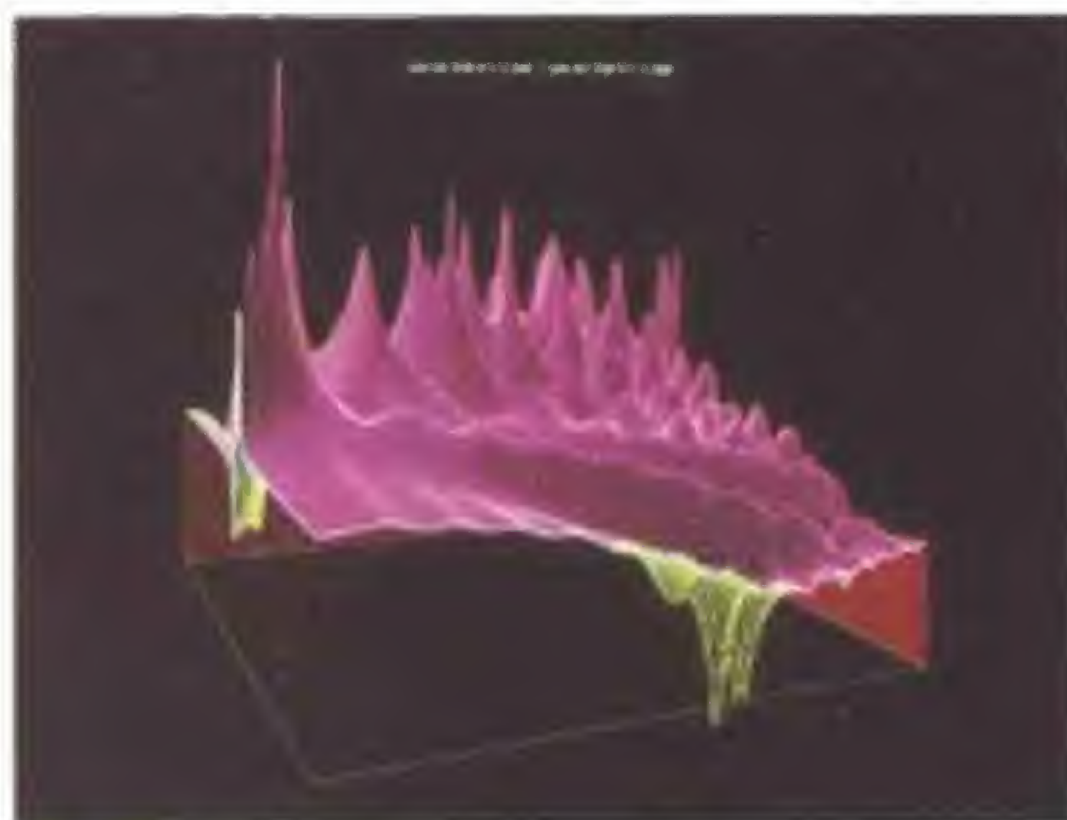
Ya a finales de los años sesenta aparecieron las primeras películas hechas no según la técnica *imagen por imagen* sino programadas por ordenador. Hacía ya varios años que se investigaba en Estados Unidos en este sentido, y la primera película "artística" realizada con ordenador fue *Hummingbird*, de los americanos Charles A. Csuri y James P. Shaffer, en 1967.

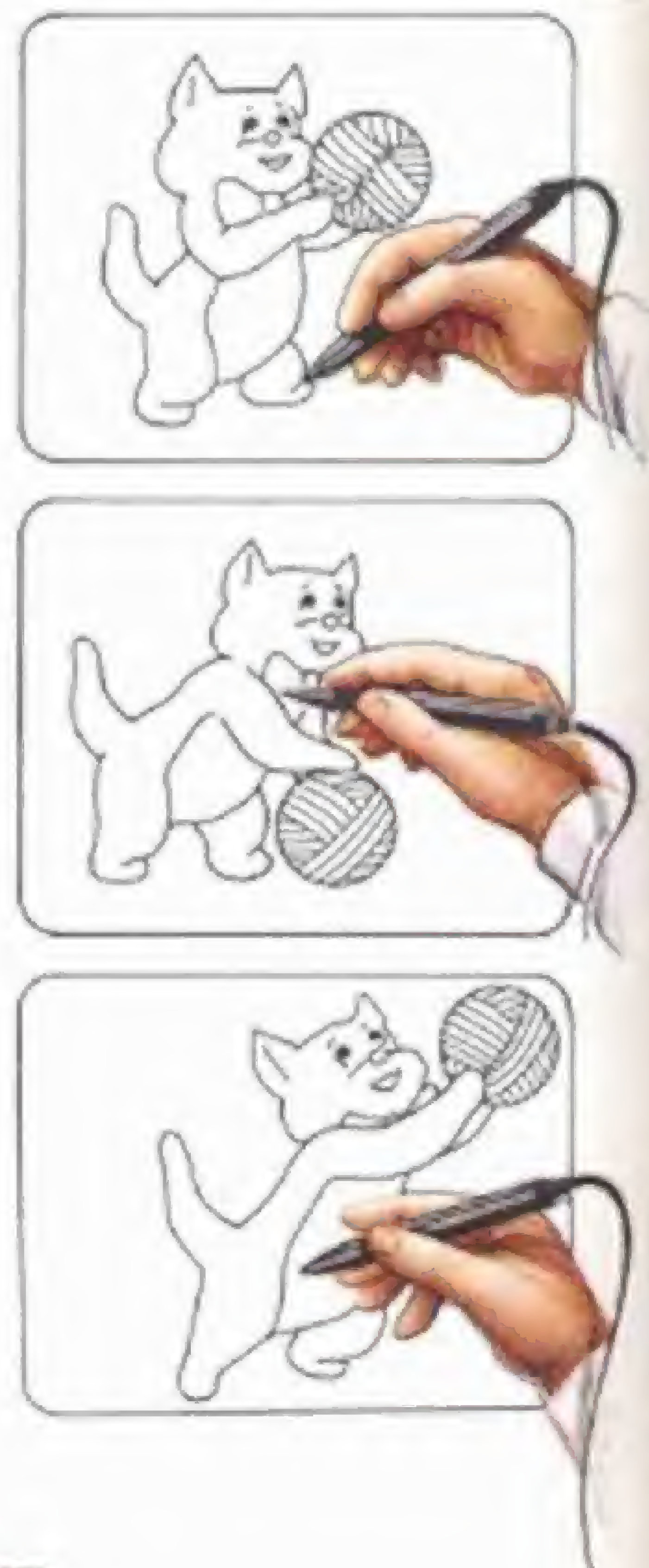
La animación se basa en el mismo principio que la cinematografía: proyectando una tras otra las imágenes de los fotogramas con una velocidad determinada, se produce la sensación de movimiento. En una película tradicional la cámara funciona continuamente, filmando los movimientos reales cuando estos ocurren; en una película animada, se filman separadamente las imágenes que recogen el movimiento en sus diversas fases. Cuando esos fotogramas se montan y se proyectan, se perciben también en movimiento, más o menos natural según las fases fotografiadas y el efecto pretendido.

La animación mediante ordenador utiliza una pantalla de televisión en vez de una cartulina con los dibujos, pero las imágenes se fotografían siguiendo el mismo procedimiento. La principal diferencia radica en la creación de imágenes, que ya no son realizadas por dibujantes sino por el ordenador, al que se le proporciona un "programa" con determinadas instrucciones. Las imágenes resultantes se visualizan en la pantalla conectada al ordenador, procediendo a fotografiar las que convenga. De ese modo, el operador se sirve de todas las ventajas que un cerebro electrónico ofrece para crear, desarrollar y controlar las imágenes.

Interpolaciones mediante ordenador

En ocasiones, no se deja al ordenador todo el trabajo, sino que se le emplea para *interpolar*, es decir, trazar movimientos intermedios entre dos escenas dadas. Esta técnica, conocida como *in-betweening*, permite, por ejemplo, filmar a un hombre que se sienta, proporcionando al ordenador sólo tres imágenes: una del hombre de pie, otra en mitad del movimiento y la tercera sentado. Estos dibujos se superponen a una retícula





En la actualidad, la capacidad de diseño gráfico de los ordenadores y su velocidad de cálculo permiten componer dibujos, incluso a colores, y generar los pasos intermedios capaces de dar la sensación de movimiento. Arriba, una figura dibujada por ordenador que representa una superficie realizada con el diagrama de múltiples funciones. *(Los Alamos)*



de forma que los trazos que los componen puedan transformarse en pares de puntos ordenados según su posición. Estos pares de valores se introducen en el ordenador, que se programa para que, en primer lugar, los transforme en puntos o segmentos hasta componer la imagen y, en segundo lugar, para que los desplace repetidas veces hasta crear varias imágenes intermedias entre las introducidas, generando así una secuencia completa. Cada una de esas imágenes es fotografiada, formando la película de esa escena. Muchas de las más importantes productoras de dibujos animados utilizan esta técnica, que les permite trabajar con mayor rapidez y precisión y a menor coste.

Vídeo-síntesis Se trata de otra técnica ligada a la animación mediante ordenador y usada frecuentemente para los anuncios publicitarios de televisión. Mediante esta técnica, el nombre de un producto o la *rotulación* de un programa pueden aparecer en pantalla, fragmentarse y recomponerse formando una nueva palabra o girar como una peonza.

Esta técnica, llamada *síntesis analógica de imágenes* o también *vídeo-síntesis*, precisa un programa especial de ordenador. El operador introduce en el ordenador una imagen utilizando para ello un "lenguaje" adecuado y le pide mediante las instrucciones del programa que la elabore mediante un proceso matemático para duplicar su tamaño, girarla un cierto número de grados, etc. En instantes, el ordenador analiza el dibujo original y las instrucciones, y crea una expresión matemática en función del tiempo que establece el valor de algunos puntos principales del dibujo en cada instante. Por ejemplo, si el dibujo es el de una ola, el ordenador puede "encresparla" moviendo los puntos en que están situadas las crestas. Una de las ventajas de este tipo de animación es que las imágenes que giran, vibran o se arremolinan pueden filmarse directamente sin necesidad de hacerlo "foto a foto". Los cuadros de control de las naves espaciales de Hollywood suelen "animarse" con esta técnica.

Animación digital Este tipo de animación por computadora resulta muy adecuado para las películas que requieren efectos especiales. Esta técnica requiere el uso de instrucciones "escritas" en fichas perforadas o en un soporte magnético y lenguajes específicos de ordenador. Las fichas pueden contener, por ejemplo, lecturas de la temperatura infrarroja del cuerpo humano en varias posiciones, con instrucciones para disponer las diversas temperaturas de determinadas maneras. El resultado se presenta en pantalla, una imagen cada vez. Como antes, la cámara impresiona un fotograma cuando aparece la imagen. En una película de ciencia ficción, el resultado de jugar con las temperaturas, brillante y luminoso, puede muy bien parecer un cuerpo formado por energía pura.

Todas esas técnicas, así como otras actualmente en estudio y experimentación, tienen ventajas e inconvenientes. La de *interpolación* ahorra tiempo a los dibujantes en la realización de dibujos, aunque normalmente es necesario retocar los que resultan del cálculo del ordenador. La *vídeo-síntesis* da resultados óptimos cuando se utiliza para mover letras o formas geométricas o esquemáticas, pero no es muy útil para figuras como la humana. La *animación digital* es adecuada sobre todo para la realización de efectos especiales y películas experimentales, aunque sus imágenes resultan demasiado "astrales". En el futuro, sin duda, será posible superar esos límites y la animación digital por ordenador podrá generar imágenes exactas y verosímiles, por ejemplo, de un astronauta absorbido por un *agujero negro* o transformado en energía.

Véase **Animación cinematográfica; Cámara y proyector cinematográficos; Cinematografía**







A la izquierda, el vídeo sobre el que el dibujante traza una figura con un lápiz magnético. La memoria del ordenador recordará la figura y, por medio del programa indicado, podrá modificarla. Si, por ejemplo, se quiere realizar el movimiento de una figura delante del escenario (arriba), se empieza por dibujar algunas posiciones extremas que esta figura puede adoptar. Como ejemplo, los tres dibujos de la página anterior. Arriba, la serie más completa que servirá para la escena definitiva, desde que el animalito parte para lanzar la pelota al cesto hasta aquella en la que se dispone a encestar. A partir de ese punto, interviene el programa de interpolación. Una vez que se le han indicado al programa los datos relativos al número de fotografías y la posición en que deberán quedar los dibujos-base, el programa efectúa los dibujos de todos los fotogramas intermedios. Éste realiza también las pequeñas dilataciones o contracciones cuando la figura se acerca o aleja. También puede dibujar la figura cuando ésta cambia por experimentar pequeños giros o aparecer en la figura base algún detalle que no figuraba en las anteriores. La técnica de la interpolación tiene una gran utilización por su rapidez, precisión y bajo coste.

Animal

Hace unos 3.500 millones de años ya existían en el ambiente marino y en el agua dulce las llamadas *células eucarióticas* animales, es decir, células evolucionadas de estructura compleja en las cuales las sustancias internas se habían especializado ya, e incluso se habían diferenciado para constituir dispositivos susceptibles de desempeñar funciones importantes para este ser primitivo. Por ejemplo, células de este tipo contenían proteínas capaces de construir cilios y darles la capacidad de vibrar; de esta forma podían moverse en el medio líquido en que vivían como una balsa movida por su remo. Otras cadenas proteicas eran incluso capaces de llevar, desde puntos de la superficie del ser primitivo, una cierta sensación (consciencia sería excesivo) de la presencia en el ambiente de un cierto tipo de sustancia hacia la cual era conveniente moverse. Esto provocaba el movimiento del ser unicelular en la dirección correcta. Aunque esto ocurría de un modo aproximado, era sin embargo suficiente para mejorar las condiciones de supervivencia en un ambiente en el que la competencia comenzaba a hacerse sentir.

Las primeras conquistas A partir de estas sustancias primitivas y de su burda asociación dentro de la célula iban a surgir las células especializadas, que al diferenciarse serán capaces de originar tejidos y órganos especializados. Algunos de estos tejidos serían después los que originarían las estructuras rígidas de protección, como las conchas de los lamelibranquios y los exoesqueletos de los artrópodos. Otros tomarían una especialización de tipo químico para ser capaces de metabolizar sustancias alimenticias y con el tiempo se convertirían en los constituyentes de los sistemas digestivos. Pero antes era necesario dar un paso mucho más importante. Lo que en la célula eucariótica ocurría por difusión, en los seres pluricelulares iba a necesitar un sistema mucho más complejo. Por poner un ejemplo, en una célula con un diámetro de unas pocas micras, el oxígeno se obtiene a partir del agua en la que está sumergida (que lo contiene disuelto) por simple difusión, un proceso bastante rápido para una célula individual. Sin embargo, para un sistema pluricelular la simple inmersión en agua con oxígeno no es suficiente. Por lo tanto es necesario un sistema de células que tome el oxígeno del agua, aunque sea por difusión, que lo disuelva en el oportuno líquido y que éste circule a través de su cuerpo. Este sistema, en los animales superiores actuales, lo desarrollan los pulmones (si viven en ambiente aéreo) o las branquias (si habitan en medio acuático) y el sistema circulatorio activado por el músculo cardiaco.

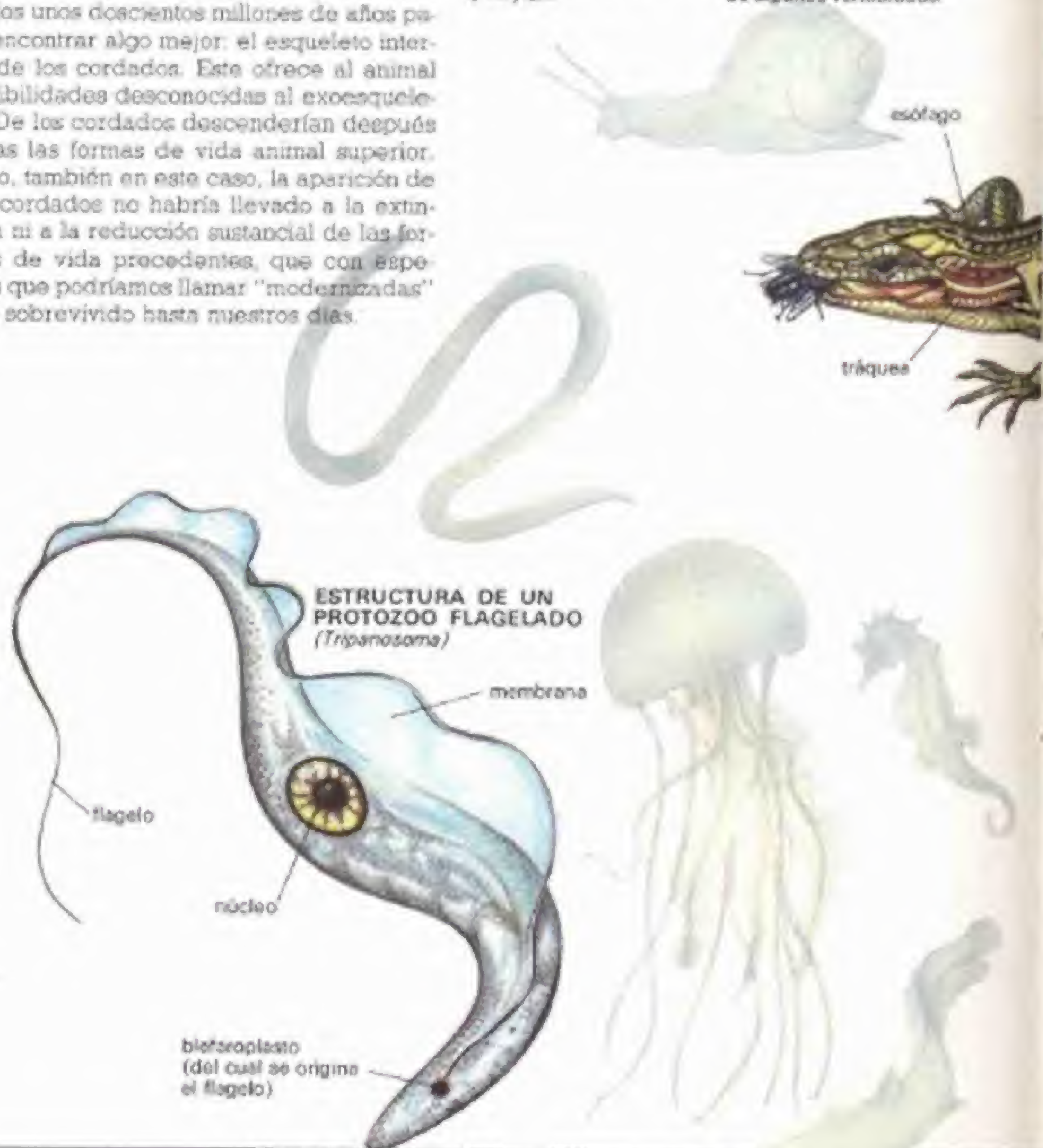
También las células vegetales, que sufrieron la evolución hacia los seres pluricelulares, convirtiéndose en plantas, han desarrollado un sistema de transporte interno de sustancias alimenticias (no de oxígeno), pero sus exigencias de vida vegetativa les ha diferenciado siempre de los animales.

El ente pluricelular vegetal encaminó su evolución hacia una vida estática, anclado al suelo, mientras el animal lucharía por la supervivencia adaptándose a la carrera, en la competición para conseguir el alimento; bastante pronto, además, se iba a presentar en el camino evolutivo la necesidad de escapar a los depredadores. Necesidades éstas que no existían mientras los seres unicelulares nadaban en lo que hoy llamamos acertadamente "caldo de cultivo".

Las sucesivas conquistas La primera conquista de las formas animales fue la aparición de los seres pluricelulares. Sin embargo, este importante paso no produjo un animal capaz de excluir de la vida terrestre a los seres unicelulares: por esta razón todavía existen miles de especies animales unicelulares.

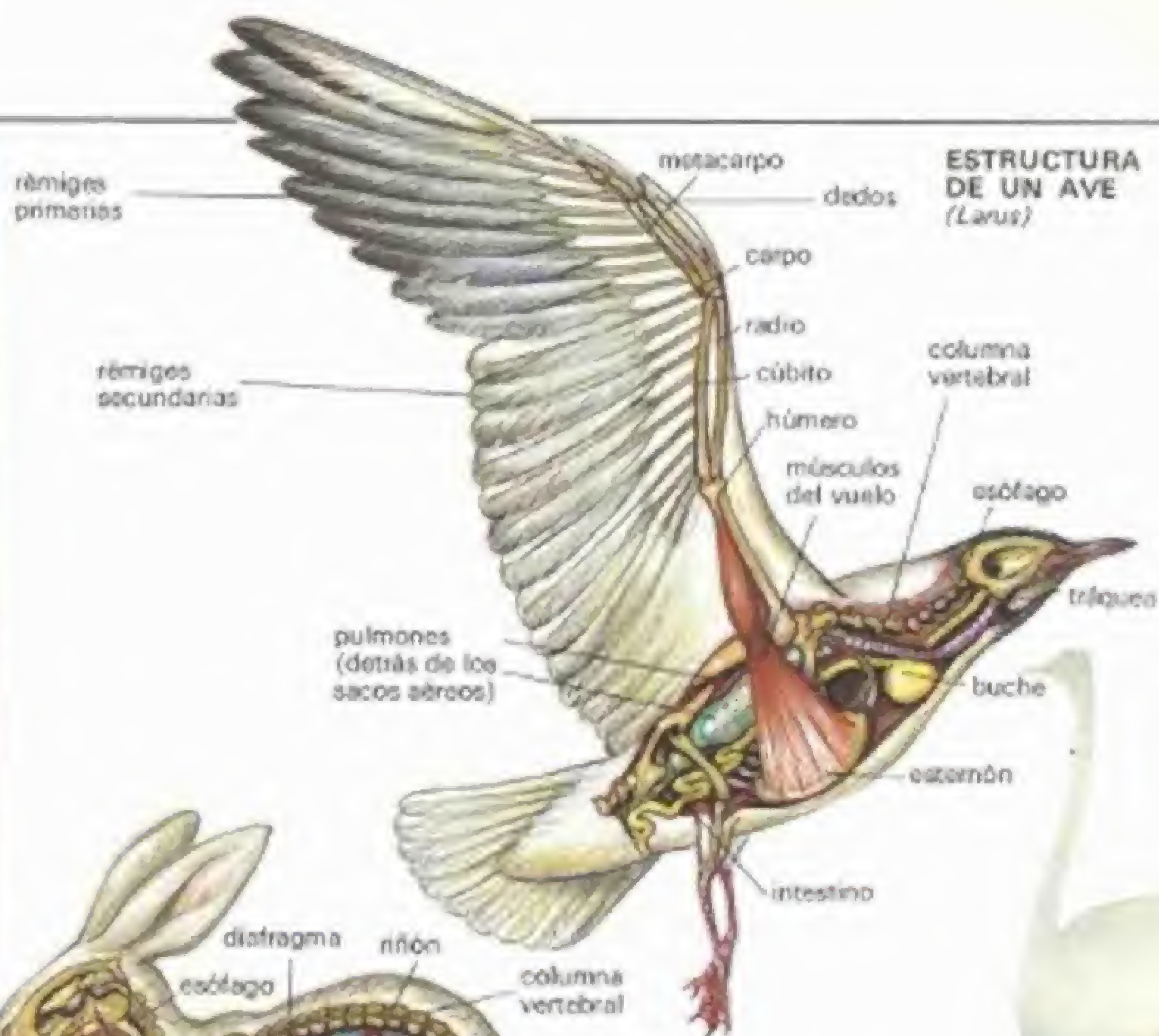
La siguiente conquista fue la consecución de un esqueleto. Los animales pluricelulares son mucho más grandes que los unicelulares: por término medio, un pequeño ser pluricelular puede tener un volumen un billón de veces mayor que el de un unicelular. Por lo tanto se hacen necesarios una protección o un soporte para el animal: las primeras protecciones que produjo la evolución fueron valvas de concha y exoesqueletos, como el de la langosta. Serían necesarios unos doscientos millones de años para encontrar algo mejor: el esqueleto interno de los cordados. Éste ofrece al animal posibilidades desconocidas al exoesqueleto. De los cordados descenderían después todas las formas de vida animal superior. Pero, también en este caso, la aparición de los cordados no habría llevado a la extinción ni a la reducción sustancial de las formas de vida precedentes, que con especies que podríamos llamar "modernizadas" han sobrevivido hasta nuestros días.

Ningún animal o vegetal puede ser estudiado prescindiendo del ambiente en el que vive y de la comunidad de la que forma parte. El hombre mismo es una especie entre multitud de otras con las que tiene lazos muy antiguos e indisolubles. Tampoco entre plantas y animales la diferencia es absoluta: las plantas aprovechan la luz del sol y los compuestos inorgánicos de la tierra para sintetizar el alimento que necesitan; los animales se alimentan de los elementos elaborados por las plantas y devuelven a la tierra los mismos elementos que necesitan las plantas. La primera rama de la Biología objeto de estudio fue la anatomía, y a partir de estos estudios se realizaron varias clasificaciones hasta llegar a la actualmente aceptada. La primera gran división es el Reino: Reino animal y vegetal; el Reino animal, a su vez, se divide en Tipos o *Phylum* (por ejemplo, Vertebrados y Moluscos); un Tipo se divide en Clases (por ejemplo: Mamíferos, Reptiles, Aves); dentro de las Clases están los Órdenes (por ejemplo: la clase de las Aves comprende el orden de los Passeriformes, Galliformes, etc.). La Familia es la subdivisión de los Órdenes (por ejemplo: a los Passeriformes pertenecen los Córvidos). La Familia se divide en Géneros (por ejemplo: los miembros del Género *Corvus* son de la familia de los Córvidos); los Géneros se dividen en Especies (por ejemplo: al Género *Corvus* pertenecen el cuervo imperial, la graja, etc.). En los dibujos de estas dos páginas se han confrontado las estructuras anatómicas de las principales clases de animales. En los dos recuadros: arriba, la clasificación simplificada de los seres vivos; abajo, el encéfalo de algunos vertebrados.

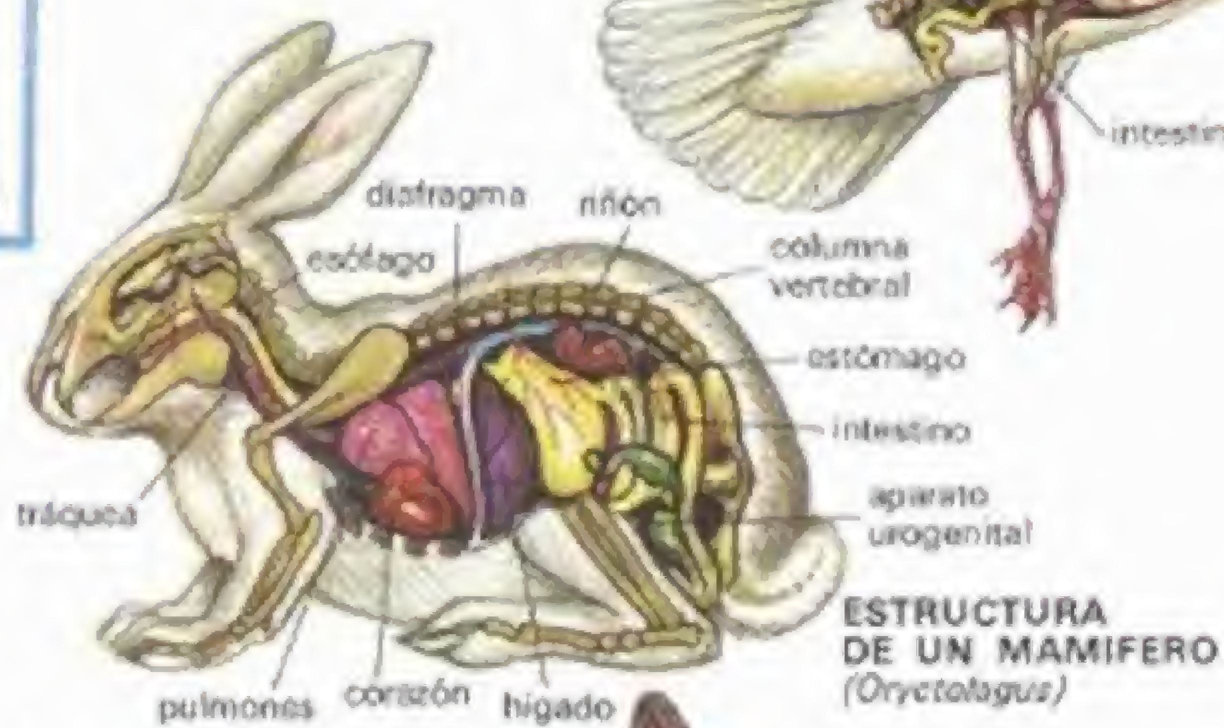




CLASIFICACION SIMPLIFICADA DE LOS SERES VIVOS



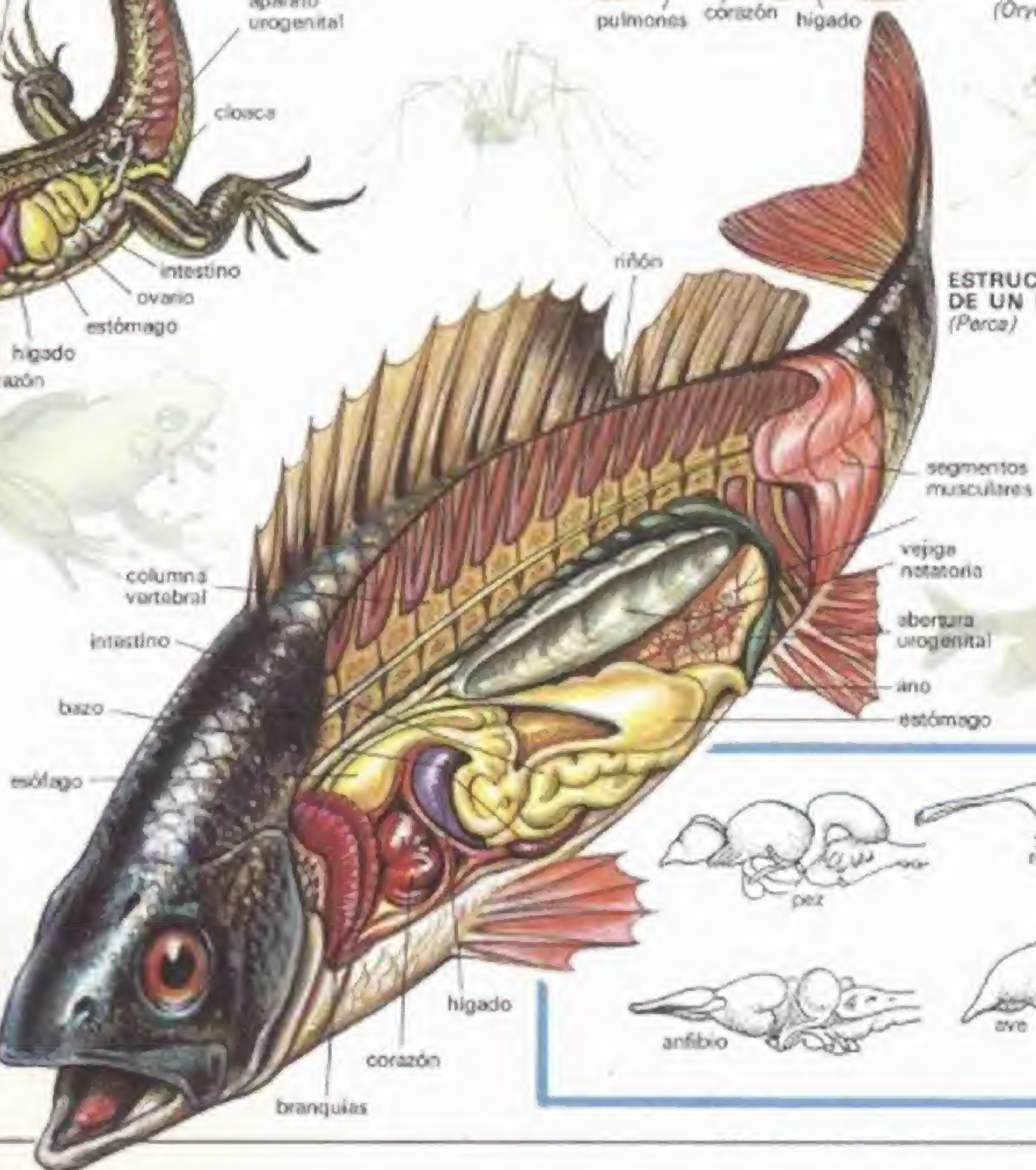
ESTRUCTURA DE UN AVE
(Larus)



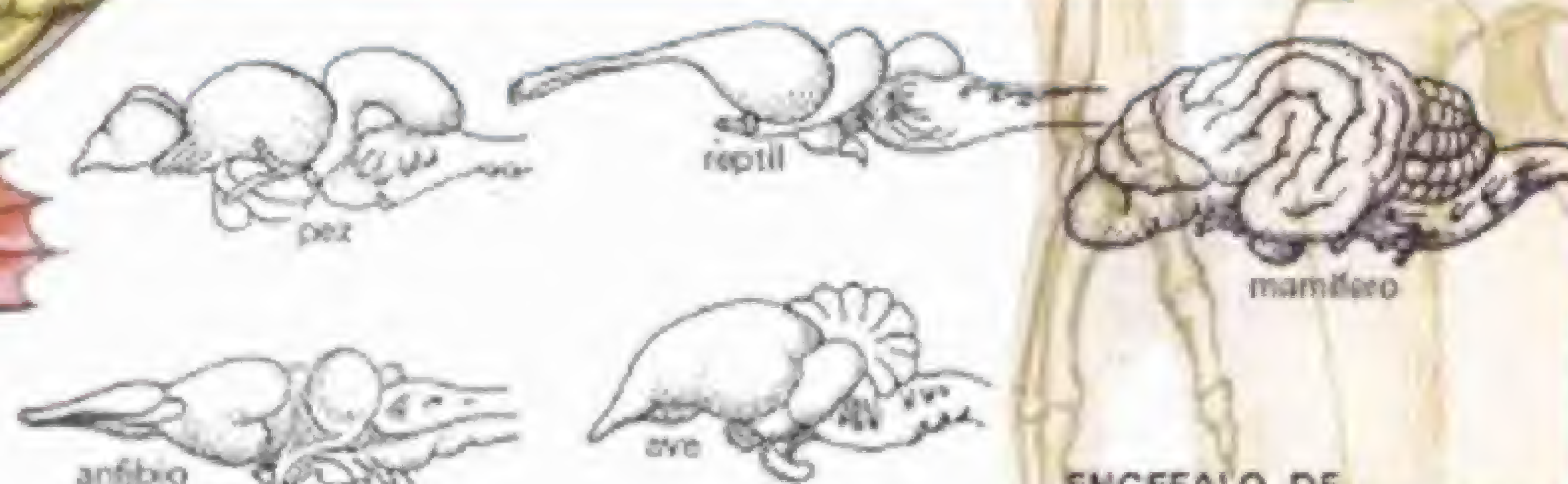
ESTRUCTURA DE UN MAMIFERO
(Oryctolagus)



ESTRUCTURA DE UN REPTIL
(Lacerta)



ESTRUCTURA DE UN PEZ OSEO
(Perca)



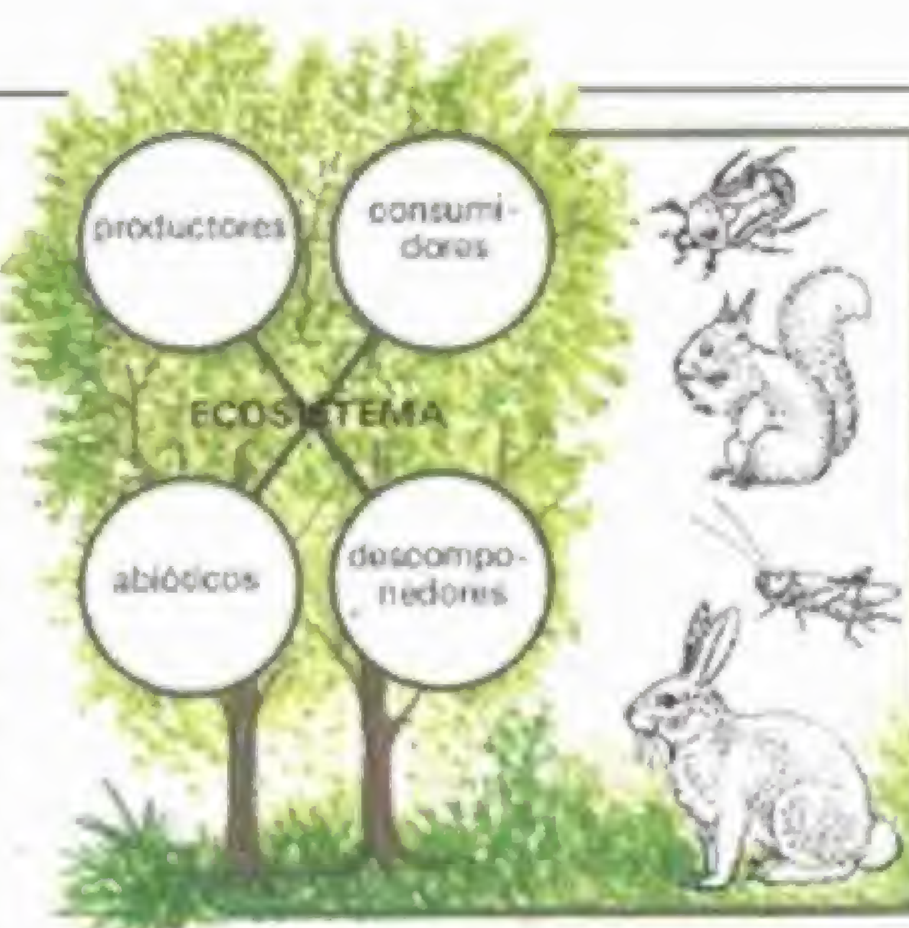
ENCEFALO DE ALGUNOS VERTEBRADOS

Hacia la vida en la tierra Antes, sin embargo, ocurrió un fenómeno esencial para la evolución y los sucesivos y prodigiosos cambios de organización de las formas de vida animal: la colonización de las tierras que habían emergido de las aguas.

Efectivamente: hasta hace unos cuatrocientos millones de años únicamente existía vida en el agua. Fueron los vegetales los primeros en conquistar la tierra y en preparar el terreno para la llegada de los animales. Después empezaron a salir éstos, pudiendo regresar a las aguas para respirar el oxígeno disuelto en ellas: de esta forma "nacían" las formas anfibias, que podían subsistir en ambos ambientes: acuático y terrestre; finalmente se originaron las formas de vida especializadas sólo en el medio terrestre.

A la conquista del aire Fueron suficientes otros cien millones de años para generar una forma animal que habría de dominar el planeta durante la mitad del tiempo sucesivo: los reptiles, que más tarde conquistarían el aire con el vuelo, al principio limitado a los insectos. Los reptiles se iban a desarrollar pronto de un modo excepcional (los paleontólogos hablan de "explosión evolutiva"); invadieron todos los medios, incluso el aire. Pero, por primera vez en la evolución, no todas las formas de vida se mantuvieron. Dominadores de los mares, al menos de los epicontinentales, actualmente los reptiles se han reducido a algunas especies de tortugas; los otros, los grandes saurios, viven en las extensiones de agua dulce que alternan con el ambiente terrestre en el que van a descansar. Por el contrario, han desaparecido totalmente del aire. En efecto: desde la época de los saurios la evolución ha producido sistemas cada vez más eficaces en la competencia por la subsistencia, desplazando a las viejas formas animales de los nichos en los que se habían asentado.

Nace el cerebro De la época de los reptiles data el comienzo de un desarrollo muy veloz de un órgano que se iba complicando para tomar su forma definitiva: el cerebro. En los primeros seres pluricelulares existían unas vías nerviosas que conducían los estímulos desde primitivos órganos sensitivos (táctiles o químicos y, algunas veces, ópticos) hasta los músculos que debían realizar una acción consecuente con el estímulo: persecución, fuga. Pero no existían órganos que coordinasen las señales de los distintos sensores y transmitiesen las órdenes a los músculos. Estos ganglios nerviosos nacerían después: apenas se dan, por ejemplo, en los erizos o en las estrellas marinas, descendientes directos de formas de vida muy antiguas. Pero con la aparición de los trilobites, los primeros seres (marinos) dotados de muchos y primitivos ojos, se dio en las formas animales un desarrollo rápido de un órgano de recogida y clasificación de informaciones, lo que después se iba a convertir en el cerebro.



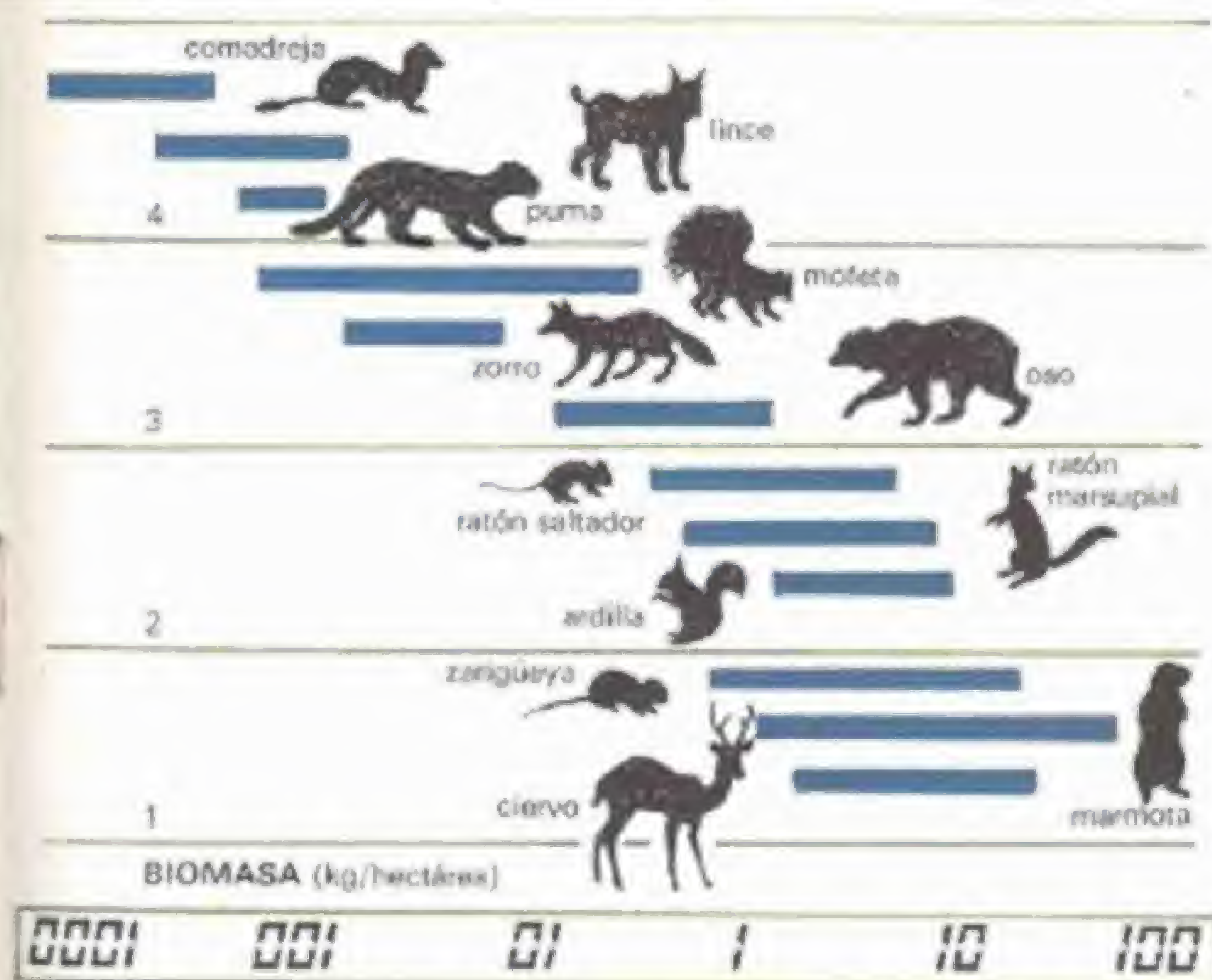
En el dibujo de arriba puede verse la reproducción esquemática de un ecosistema. A los componentes físico-químicos del ambiente se añaden los biológicos; entre éstos, los productores son las plantas, los consumidores son los animales y los descomponedores son todos los organismos que viven de restos orgánicos, transformándolos en sustancias inorgánicas. Los consumidores son de primer orden si se nutren exclusivamente de vegetales (recuadro de la izquierda), de segundo orden si se nutren de animales vegetarianos (en el centro) y de tercer orden si son carnívoros que se nutren de otros carnívoros o herbívoros (a la derecha).

La época de los mamíferos Los mamíferos constituían un grupo poco importante durante casi todo el Mesozoico. Empezaron a preponderar cuando se inició la decadencia de los reptiles, al final del Cretácico. Esta preponderancia se debió muy probablemente a su mejor adaptación fisiológica a los grandes cambios climáticos ocurridos al final del Cretácico. En este sentido, fue fundamental la conquista, por parte de los mamíferos, de la homeotermia, es decir, la posibilidad de regular mediante el metabolismo la temperatura de su cuerpo, independientemente de la temperatura ambiente. Sin embargo, un reptil, lo mismo que un insecto o un pez, está obligado a sufrir en su temperatura interna los cambios de temperatura del medio en el que vive. De esta forma, si la temperatura del medio desciende excesivamente, puede que no muera, pero sus procesos vitales se detendrán o por lo menos serán mucho más lentos. Esta característica ha permitido a los mamíferos sobrevivir allá donde los saurios se encontraban en dificultades, y fue suficiente esta ventaja para desplazarlos. Por otro lado, la nueva modalidad de la reproducción (viviparidad) daba igualmente a los mamíferos mayor seguridad reproductiva que a los reptiles. Al aparecer los mamíferos, la población de reptiles se redujo y lo mismo ocurrió con el número de sus especies. Actualmente existen, pero ocupan escalones concretos en la Naturaleza.

Es la invasión de los nuevos hábitats lo que permite a los mamíferos desarrollar las mejores características actuales. En primer

MADUREZ SEXUAL DE LOS ANIMALES Y DEL HOMBRE





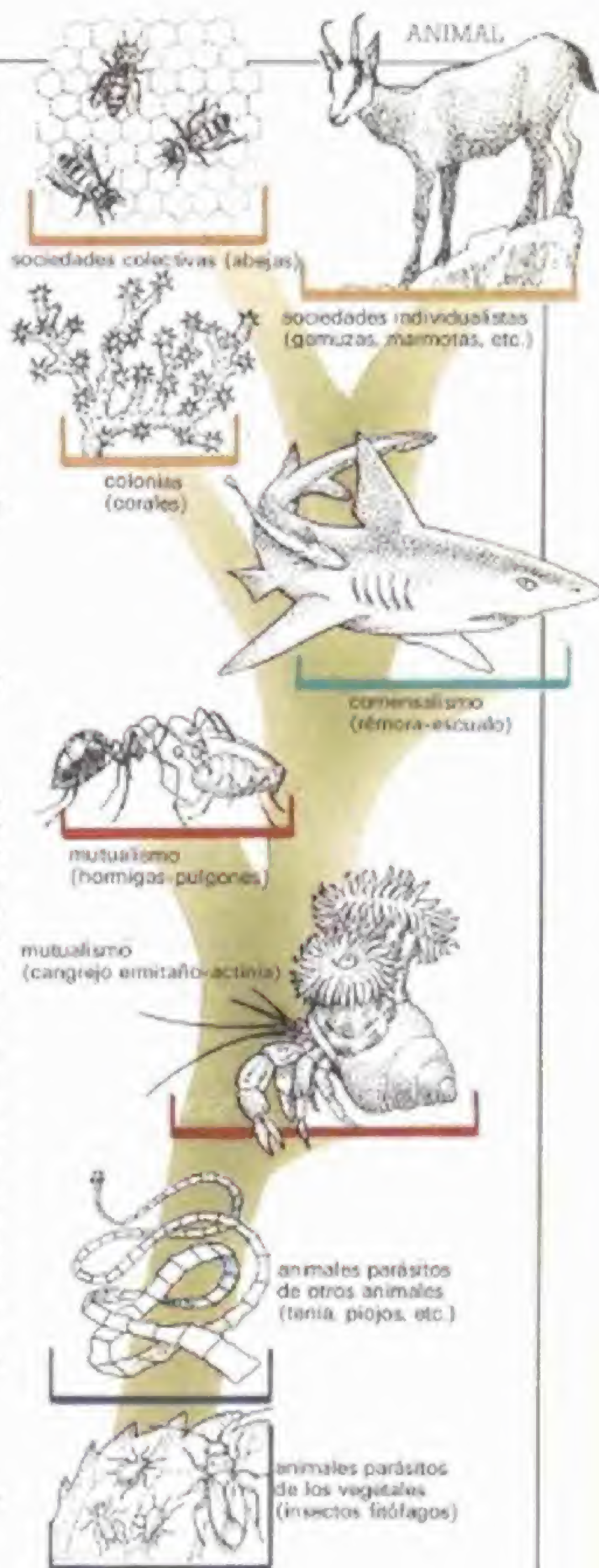
La biomasa dada en kg/hectárea expresa la densidad de población de los seres vivos en una cierta zona. El esquema de la izquierda representa un hábitat montañoso en el cual han sido consideradas únicamente unas cuantas especies incluidas en los niveles tróficos (según el tipo de alimentación) correspondientes. Puede observarse que, en las condiciones de equilibrio ecológico del sistema completo, la biomasa de carnívoros es claramente inferior a la de los herbívoros y que los mayores valores de biomasa corresponden a los herbívoros que se alimentan de hojas, mientras que los valores inferiores corresponden a los carnívoros propiamente dichos.

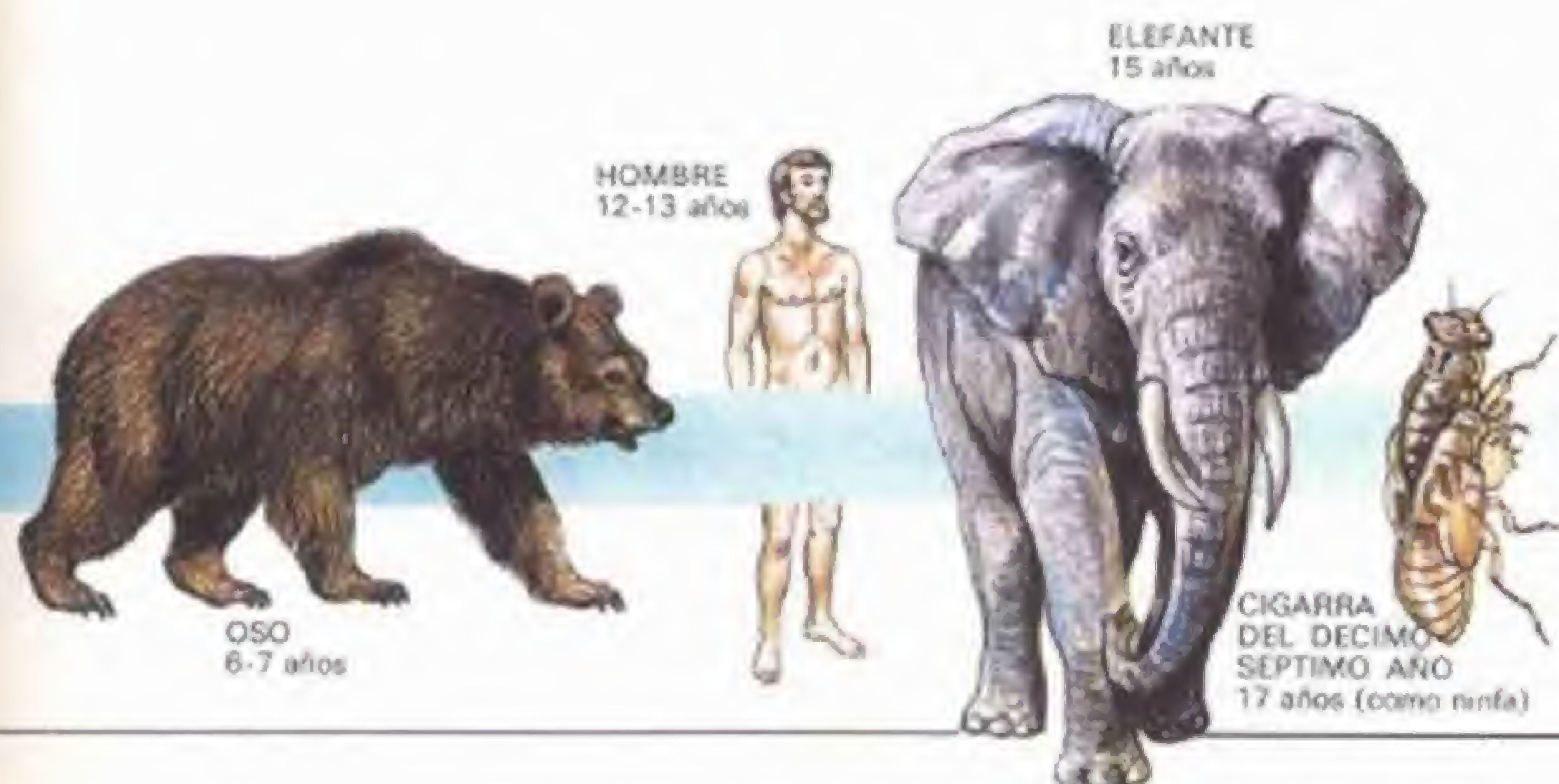
lugar, la inteligencia, entendida como la capacidad de aprender y decidir en base a las situaciones ambientales, que ha favorecido el desarrollo del cerebro, tanto en el ámbito de la memoria como en el de la capacidad de decisión. La inteligencia es necesaria para trazar la estrategia de ataque y de fuga, y versátil en el caso de situaciones siempre distintas.

Una inteligencia limitada no es capaz de adaptarse a las siempre distintas condiciones bajo las que se presentará el depredador o la presa. Y es también con el mamífero con quien ha nacido una forma de adaptación que es incluso de mayor ayuda que la inteligencia en la lucha por la supervivencia: la organización social y la cría de la prole durante muchos años, más cuanto más evolucionada es la especie. Esto ayuda muchísimo a la inserción de la especie en los ambientes más adversos, tanto desde el punto de vista climático y topográfico como del de la competencia con las otras especies.

Los mamíferos más evolucionados El orden de mamíferos actuales más evolucionado es el de los primates, al que pertenecen los homínidos. Tanto Linneo como, más tarde, Darwin habían clasificado ya el género humano dentro del *reino Animal*, como un mamífero primate perteneciente a la familia de los *homínidos*, y encuadrado en el género de *Homo*. La familia de los homínidos se independizaría del medio arbóreo conquistando el medio terrestre, con lo que sus extremidades inferiores fueron sufriendo mejores adaptaciones para una posición erecta. Poco a poco, las extremidades superiores iban quedando liberadas de su uso para caminar, y la mano, al quedar libre, se convirtió en un factor clave de la evolución del hombre. Los cambios evolutivos supusieron, además, la aparición de una pelvis más amplia, una localización del orificio occipital que permitía una mirada frontal, y una situación más recta de la espalda, perdiendo de esta forma el encorvamiento anterior tan típico de los monos antropomorfos.

Véase **Animales, distribución geográfica; Animales en peligro de extinción; Aprendizaje animal; Evolución animal**





A la izquierda, el tiempo que necesitan algunas especies animales para alcanzar la plena madurez sexual, que está estrechamente relacionado con dos factores: las dimensiones y la duración media de la vida. Para la mayor parte de los animales, con las debidas excepciones, la madurez sexual se retrasa hasta que se alcanza el crecimiento completo, para que el acoplamiento tenga éxito. En todo lo referente a los seres vivos el ambiente tiene una gran importancia y en algunos casos puede ser el factor determinante en la fijación de una madurez tardía. Un ambiente violento y extremadamente mutable puede llevar a una reproducción contenida, a pocas crías bien protegidas. Arriba, algunas de las principales asociaciones que se dan en la Naturaleza entre animales de la misma o de distintas especies.

Animales, distribución geográfica

Una selva tropical frondosa, llena de extrañas especies animales, puede parecernos un lugar lleno de misterio; sin embargo, para un zoógrafo —persona que estudia la distribución de los animales sobre la Tierra, las formas, dimensiones y colores de los animales y plantas— constituye un libro abierto del sistema ecológico de aquellas regiones, es decir, de la estrecha relación de interdependencia que existe entre las plantas, los animales y el medio ambiente que los rodea.

En la distribución de los animales sobre la superficie terrestre, además de los factores ecológicos, influyen sobre todo los factores climáticos, pero también los paleogeográficos, ligados a la sucesión de los acontecimientos geológicos que han modificado lentamente la configuración de las tierras emergidas y sus condiciones climáticas. La distribución de la fauna se ha visto condicionada, por tanto, por la evolución geológica de la corteza terrestre. La separación de los continentes, los cambios del clima y las migraciones de algunas especies animales desde sus lugares de origen han contribuido a determinar la distribución actual de las especies animales. Distintas causas han potenciado u obstaculizado la difusión de los diversos grupos zoológicos. En efecto: la presencia o ausencia de algunas especies en determinadas áreas depende de la época en la cual estas especies han aparecido sobre la Tierra, así como de la época geológica en la que se produjo la separación de los continentes y de las islas. Esto explica el porqué en Australia perviven monotremas y marsupiales y, sin embargo, faltan mamíferos placentarios autóctonos, es decir, originarios de aquella zona; y es que este continente se separó cuando ya habían aparecido los mamíferos primitivos, pero antes de que aparecieran los mamíferos superiores.

Philip L. Sclater y Alfred R. Wallace, fundadores en el siglo XIX de la ciencia denominada Zoogeografía, subdividieron la superficie terrestre en tres *reinos* zoogeográficos: la *Arctogea*, que comprende todo el continente antiguo, es decir, Europa, Asia, África y América Septentrional; la *Neogea*, que comprende la América Central y Meridional; y la *Notogea*, que comprende Australia y Oceanía. Cada uno de estos reinos se subdivide en regiones: la Arctogea comprende las regiones *Paleártica*, que se extiende por Europa y Asia, hasta el norte del Himalaya, la parte septentrional de Arabia y el África Septentrional al norte del trópico de Cáncer; la *Neártica*, que comprende América Septentrional; la *Etiópica*, que corresponde al área del África al sur de la franja desértica del Sahara y a la parte meridional de Arabia; la región *Oriental* o *Indiana*, que comprende la parte de Asia al sur del Himalaya y parte de la región Indomalaya; la *Malgache*, limitada por Madagascar e islas vecinas y considerada por muchos como una subregión.

De los dos reinos restantes, la Neogea forma la región *Neotrópica*, y la Notogea, la región *Australiana*.

Regiones zoogeográficas Hacia el fin de la era glacial, una franja de tierra unía Asia y América a través del actual estrecho de Bering, como lo prueba la semejanza actual de las especies *neárticas* (norteamericanas) y *paleárticas* (nordasiáticas). En efecto: algunos géneros como *Bisón*, *Ciervo* y *Castor* se encuentran en ambas regiones, aunque con especies distintas en una y otra.

Géneros exclusivos de la región Paleártica son algunos de mamíferos, como *Talpa*, *Camelus*, *Capreolus*, *Rupicapra* y algunos pájaros, como los géneros *Garrulus*, *Fringilla* y *Nucifraga*.

Entre los animales exclusivos de la región Neártica existen algunos mamíferos del género *Haplocerus*, *Erethizon* (el puercoespín americano), el topo almizclero (*Ondatra zibethica*), el oso gris (*Ursus horribilis*), el reno (*Rangifer caribou*), el lince canadiense (*Felis canadensis*), la nutria canadiense (*Lutra canadensis*) y muchas familias de roedores, pájaros, anfibios y peces.

La región Etiópica se caracteriza por la presencia del gorila, de los chimpancés y de otros simios, de cebras y otros équidos, de antílopes y aves, entre ellas el avestruz.

En las regiones de la India, además del tigre se encuentran el elefante de la India, orangutanes y gibones; entre los reptiles, el cocodrilo del Ganges; y entre las aves, el pavo real. La región Malgache se caracteriza por la presencia de los lemúridos, los primates más comunes de Madagascar.

La región Australiana es rica en especies que le son propias y que no se encuen-


hace 200 millones de años

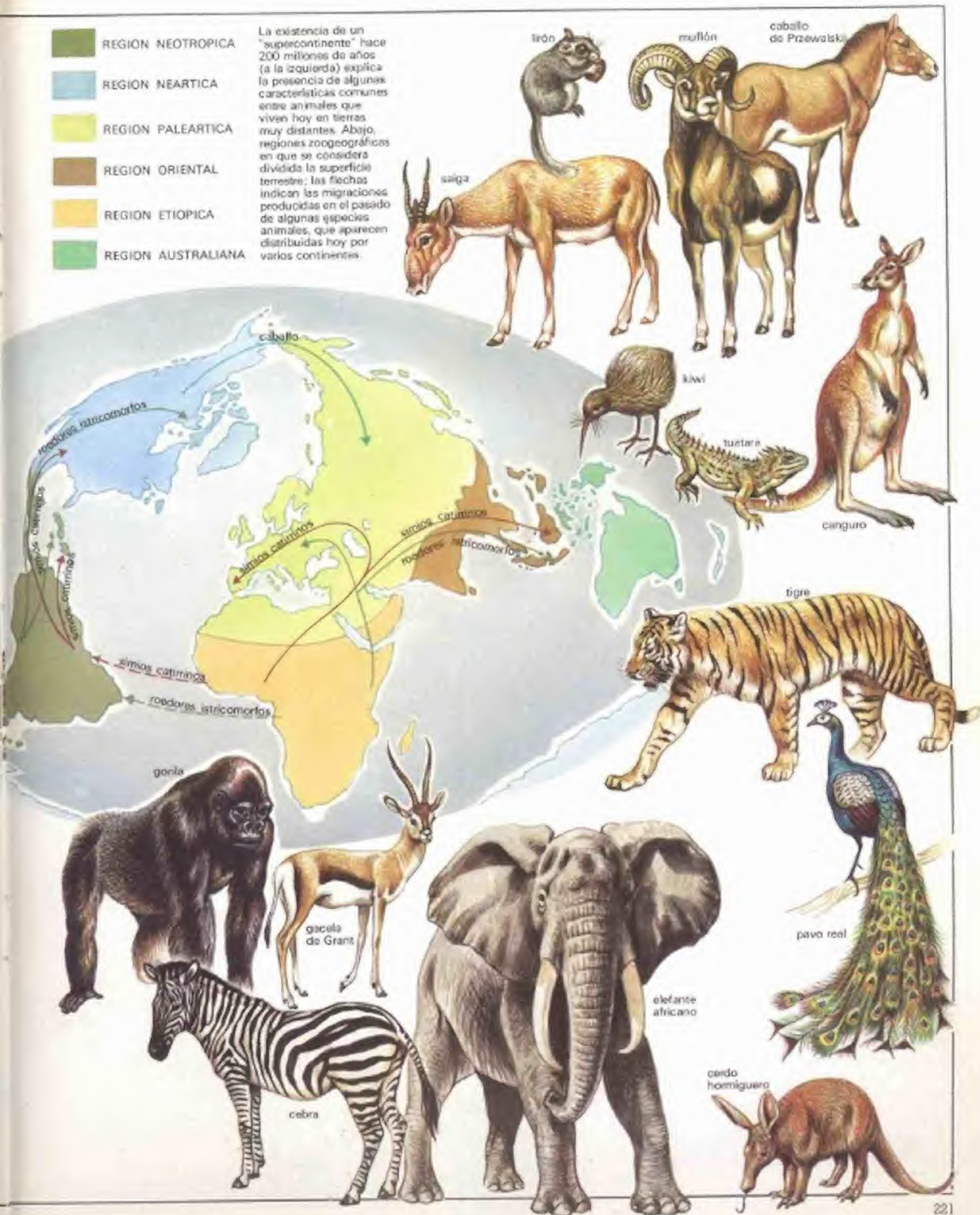




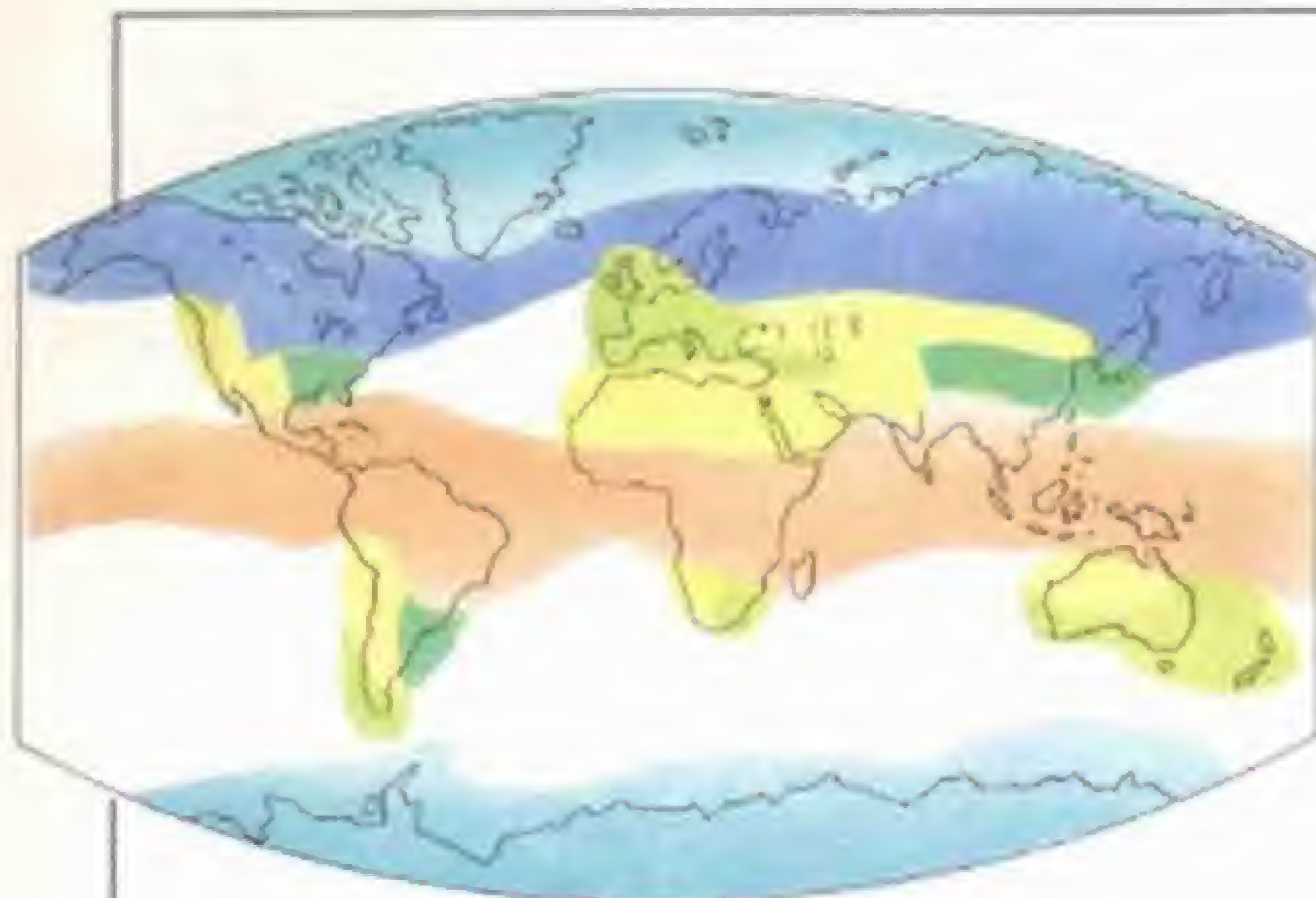


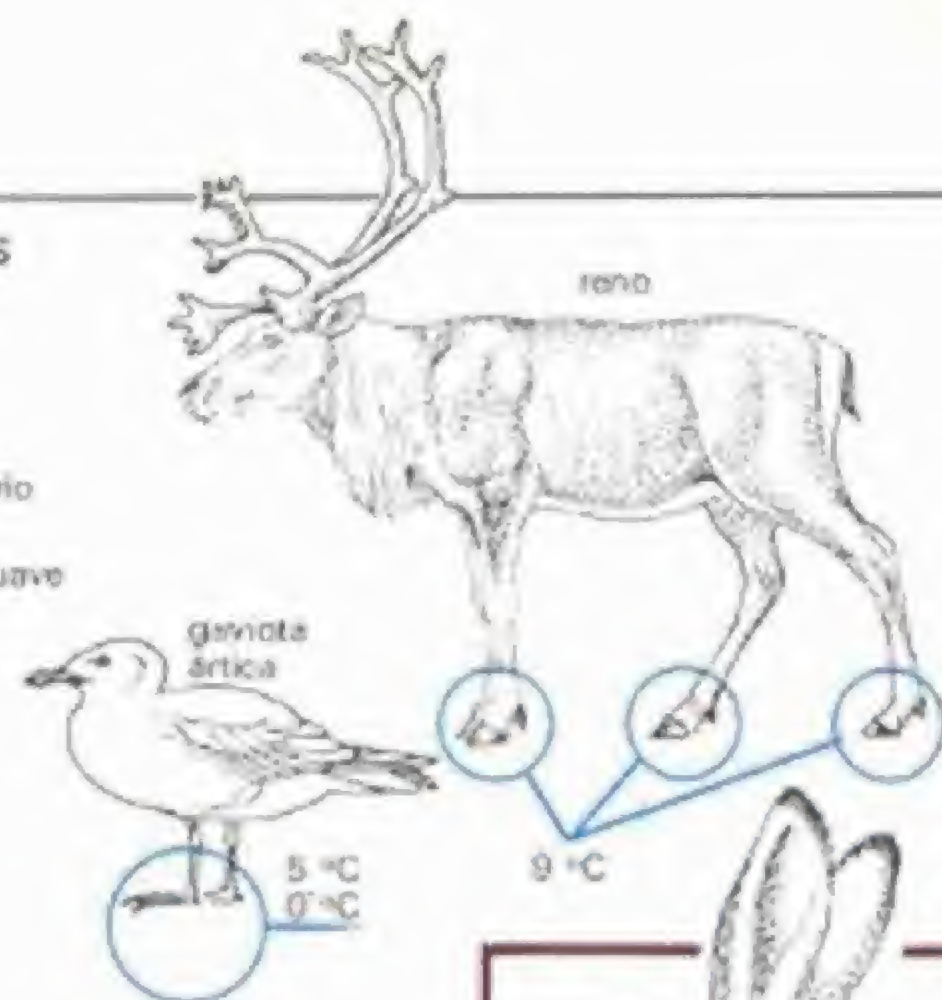






La existencia de un "supercontinente" hace 200 millones de años (a la izquierda) explica la presencia de algunas características comunes entre animales que viven hoy en tierras muy distantes. Abajo, regiones zoogeográficas en que se considera dividida la superficie terrestre; las flechas indican las migraciones producidas en el pasado de algunas especies animales, que aparecen distribuidas hoy por varios continentes.





tran en ninguna otra parte del mundo. En estas islas el proceso evolutivo se ha desarrollado de forma casi autónoma, debido a su aislamiento geográfico. Muchas de las islas más pequeñas de esta región tienen origen volcánico y no han estado por ello ligadas a tierras más extensas en ningún momento de su historia.

La región Neotrópica es más rica en especies animales que cualquier otra región. Esto puede ser atribuido principalmente a transformaciones radicales de la vegetación, causadas por períodos intermitentes de clima árido, iniciadas en el Pleistoceno, hace un millón de años, y que continuaron en época reciente, hace 50.000 años. En respuesta a las transformaciones del ambiente, se han desarrollado nuevas especies, representadas en este caso por la aparición de la sabana en zonas en las que antiguamente existía selva tropical. Además, muchas especies se encontraron aisladas de otras que vivían en la zona, y al no ser posibles los cruces evolucionaron de forma distinta (fenómeno de *deriva genética*).

La utilidad de la Zoogeografía El conocimiento de la distribución de los animales en las distintas áreas geográficas puede ser útil en varios aspectos. El período de tiempo durante el cual cierto grupo de animales ha vivido en una zona puede indicarnos, por ejemplo, la edad geológica de la misma. La presencia de especies similares en zonas distantes puede ser una prueba del hecho de que ambas zonas estuvieron alguna vez unidas entre sí. La Zoogeografía puede suministrar elementos para comprender las líneas de desarrollo de la evolución. Las formas específicas en que ciertas especies animales se adaptan a los nuevos hábitats a los que han emigrado aportan indicios sobre las exigencias reales del nuevo ambiente, que depende en general del tipo de vegetación existente. Además, la extinción de especies animales en una determinada zona da a menudo una visión completa del ecosistema.

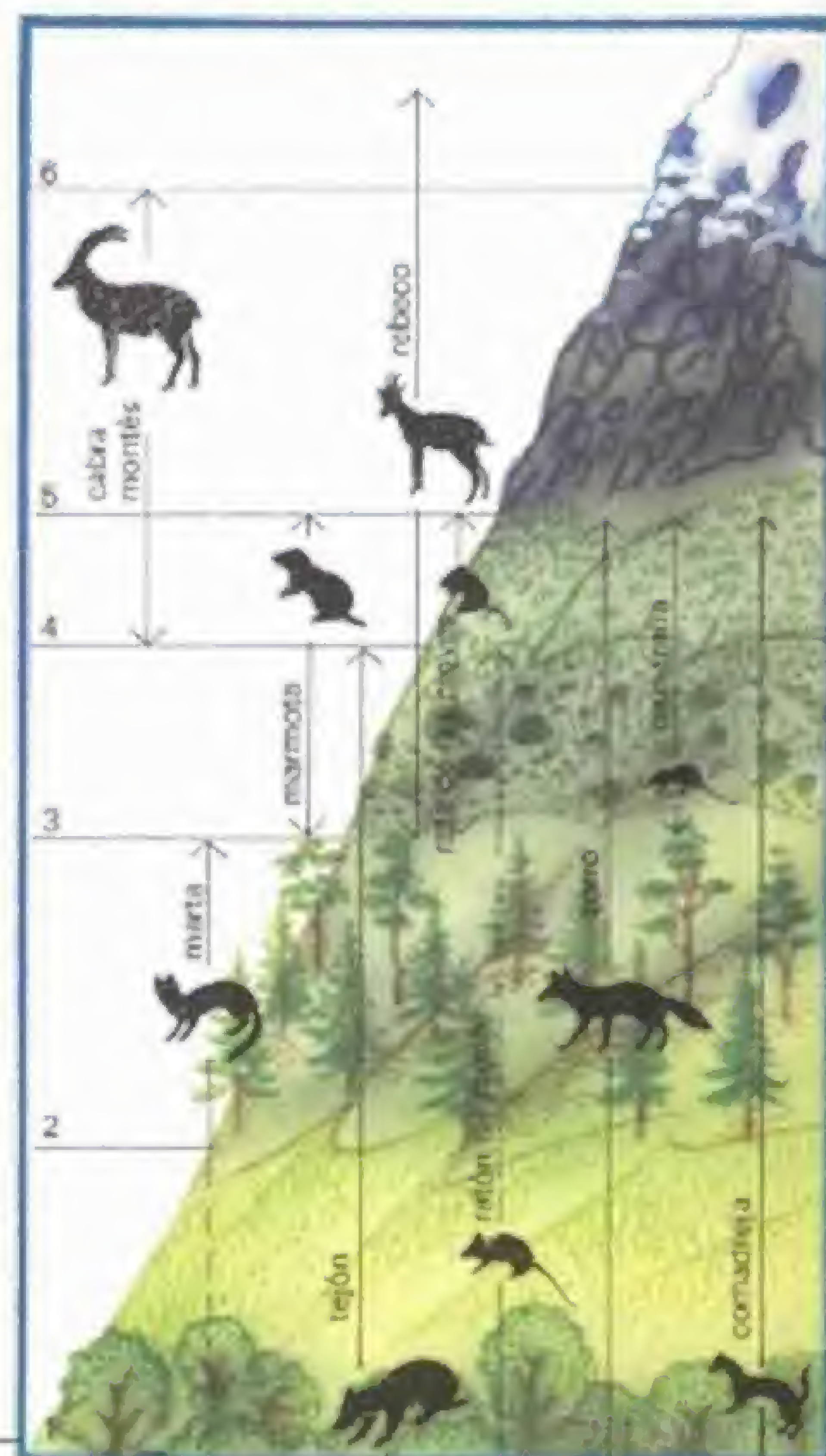
La Zoogeografía puede también ayudar en la defensa y conservación del ambiente en el que vivimos. Y es que la desaparición de peces en un río suele ser un indicador claro de la contaminación de sus aguas.

El conocimiento de los insectos que viven en una región puede ser de vital importancia para la agricultura. Una de las razones por las que los mayas, fundadores de una de las mas grandes civilizaciones de América, se vieron obligados a dejar Guatemala y establecerse en Yucatán parece que pudiera haber sido la destrucción de los campos de maíz, atacados por los insectos, lo que debió ocurrir en el año 1000 de nuestra era. Desde entonces, la Zoogeografía ha recorrido un largo camino.

En el mundo animal son frecuentes los casos de adaptación a las condiciones climáticas del ambiente en el que viven los animales. Así, en los renos y en las gaviotas árticas las extremidades son mucho más frías que el resto del cuerpo, reduciendo de ese modo la dispersión de calor. En las liebres, la dimensión de las orejas varía según el ambiente en el que viven. La liebre californiana posee orejas muy grandes, a diferencia de la especie ártica, en la que son pequeñas con objeto de reducir la pérdida de calor.



Erebia ligea



Véase **Animal; Ecología; Evolución animal**

estrato de las copas emergentes

estrato de cobertura principal

estrato intermedio

estrato arbustivo

mago

A la derecha, distribución de algunas especies animales que viven en distintos continentes pero ligadas al mismo bioma, los estratos de la selva tropical: el estrato arbustivo; el estrato intermedio, formado por los árboles menores; el estrato de cobertura principal, y el estrato de las copas emergentes, reino de la arpía. Junto a estas líneas, un *Tarsio spectrum* (mago), animal que desarrolla su vida en los árboles de Malasia. A la izquierda, esquema de la distribución altimétrica de los animales en ambiente alpino, en el que la presencia de las diversas especies está muy ligada a la distribución de la flora. En la página anterior, una *Erebia ligea*, lepidóptero que vive en los Alpes y los Apeninos, a una altitud que varía entre los 600 y los 1.500 metros.

Animales en peligro de extinción

Como hemos podido llegar a saber por lo que ocurrió con los dinosaurios, la *extinción* o desaparición de una especie animal puede estar provocada por un proceso de selección natural. Los hallazgos de fósiles son testimonio de que ya antes de la aparición del hombre las especies animales se extinguían a un ritmo aproximado de una cada 1.000 años. Pero a partir del año 1900, la influencia ejercida por la Humanidad sobre el medio ambiente ha llevado a un aumento de la velocidad de extinción, que alcanza la cifra de una especie al año.

Nivel crítico de una población Una especie se puede considerar en peligro cuando su población disminuye tan drásticamente, que se puede temer por su extinción. Hay varias especies cuyas poblaciones han pasado ya el límite por debajo del cual se puede considerar en peligro la propia supervivencia de la especie. Para muchos animales solitarios que se mueven en espacios muy vastos, como la ballena azul y el oso polar, una disminución de la población supone, además, que sea muy difícil el encuentro entre el macho y la hembra.

Por qué una población alcanza el nivel crítico Si quisiéramos representar en un calendario la evolución completa de nuestro planeta, la especie humana aparecería sólo en los últimos momentos; pero a pesar de su breve presencia sobre la Tierra, ha provocado la desaparición de tantas especies como se extinguieron durante cientos de miles de años por efecto de la selección natural. La extinción de las distintas especies se debe, sobre todo, a la destrucción de hábitats naturales, a la caza y a la inserción en esos hábitats de nuevas especies que han acabado demostrando ser antagonistas de las autóctonas.

La destrucción del hábitat es, generalmente, la causa principal que determina que se alcance el nivel crítico previo a la desaparición de la especie. Las transformaciones que el hombre ha provocado en el medio ambiente han destruido muchos y distintos hábitats no sólo de forma directa, con la aclaración y tala total de los bosques, la desecación y drenaje de zonas pantanosas, la explotación de minas y la proliferación de excavaciones para la obtención de petróleo y de otros minerales, sino también indirectamente por la contaminación del medio ambiente originada por el uso indiscriminado de insecticidas, herbicidas y otros contaminantes.

El bisonte europeo (*Bison bonasus*) constituye un ejemplo de animal en peligro de extinción por la destrucción de su hábitat natural. Originariamente extendido por los bosques de Europa, en el siglo XVIII desapareció rápidamente por la constante conversión de las praderas en tierras de cultivo. En el año 1803, quedaban como supervivientes en Polonia algo menos de 500 individuos de esta especie; en el año 1921 este número había descendido a 56, que vivían todos en cautividad. Una suerte pa-

cóndor de California

musaraña de Cuba

cormorán de las Galápagos

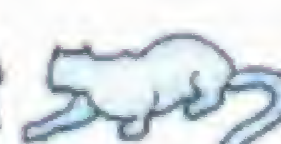
ballena azul

Toda especie viviente, animal o vegetal, se puede considerar en peligro desde el momento en que ha sido la evolución quien la ha generado y la propia evolución y la selección natural quienes pueden abocarla a la extinción. Pero este proceso no es rápido, por lo menos a la escala de la historia geológica de la Tierra. De hecho, es precisamente la historia de la vida la que indica que la evolución se fue produciendo lentamente en los primeros estadios de la vida y más rápidamente después hasta desembocar en la situación actual. Al principio existían muy pocas especies, ahora existen muchas; al principio eran especies simples, ahora son muy especializadas.




gamo de Mesopotamia


oryx de Arabia


leopardo de las nieves


caballo de Przewalskii


orangután


águila de los monos




grulla americana


trucha


hurón de pies negros


lobo rojo


pájaro de pico de marfil

panda mayor

gorila de montaña

wallaby

Abajo, perfil de algunos animales en peligro de extinción. Las causas son numerosas, pero se pueden reducir a dos clases: la primera, de la que debemos sentirnos todos un poco culpables, es la degradación del medio ambiente llevada a cabo por el hombre. Pero existen también causas naturales contra las que serían vanos los intentos de lucha. Hay que recordar, en primer lugar, que muchas especies se han extinguido en estos últimos 200 años en ambientes en los que el hombre aún no se había introducido de forma peligrosa. Basta pensar en el pájaro moa. Muchas especies se han extendido de su territorio originario a zonas tan amplias y alejadas, que han generado otras especies adaptadas a vivir en nichos muy restringidos donde sólo un impulso a la especialización podría hacer posible su supervivencia. Es el caso de la cabra de la montaña de África o del panda asiático. Las sequías y las miniglaciaciones son también causas de amenaza mortal para muchas especies que viven en determinados ambientes. Sobre estas líneas se destacan algunas de las especies más conocidas que se hallan en peligro de extinción.


varano de Komodo, *ornithoptera* del paraíso, león asiático, caimán del Ganges, rinoceronte de Sumatra




proteo, *Graellsia Isabellae*




chinchilla


armadillo gigante


oso hormiguero gigante




ibis ermitaño


hiena parda


cebra de montaña


aye-aye


boa de la isla de Round

recida corrió el único caballo realmente salvaje, el caballo salvaje de Mongolia. La última manada de esta raza corría libremente por el desierto de Gobi, en Asia, en el año 1901. En junio de 1980 sobrevivían, aunque todos ellos en cautividad, sólo 388 caballos salvajes de esta especie. Algunos animales, como el ciervo del Padre David (*Elaphus davidianus*), que fue visto por primera vez en un zoo de la China por un sacerdote católico, se encuentran actualmente sólo en estado cautivo, y no podemos saber con seguridad cuál fue su hábitat natural.

El halcón peregrino, muy apreciado en cetrería por sus excelentes cualidades como animal de caza, fue la primera de las especies que apareció en la lista de especies en peligro de extinción en Estados Unidos: en los años cincuenta el número de ejemplares era relativamente alto, pero en los años setenta la especie estuvo a punto de desaparecer. Esta drástica disminución de la población fue provocada por la saturación de los sistemas acuáticos con DDT (diclorodifeniltricloroetano). Como sus presas habituales eran los patos, en cuyos tejidos se había depositado DDT, ya que se habían alimentado de peces y plantas acuáticas, el halcón peregrino y otras aves tenían en su organismo dicha sustancia en una concentración tal, que sufrieron una alteración en el proceso de transferencia de calcio a los huevos: en algunos casos la cantidad de calcio era tan limitada que los cascarones se rompían en el nido; para otras aves, en cambio, la presencia del DDT originó la producción de huevos de cáscara tan gruesa que a menudo los polluelos morían asfixiados.





Si la destrucción del hábitat ha puesto en peligro indirectamente a algunas especies animales, también la caza ha tenido en ello un peso importante. Entre los animales que han llegado a estar en peligro por una caza indiscriminada, los más conocidos son las ballenas, los cocodrilos, los lobos, los leones de montaña y otros grandes felinos, los elefantes, las tortugas (por su caparazón) y los pájaros (por sus vistosas plumas). El búfalo es una especie típicamente en peligro por los estragos que ha venido sufriendo desde el siglo pasado.

La introducción por parte del hombre de nuevas especies animales en hábitats en los que no estaban presentes anteriormente es otra causa que, a veces, produce la disminución de ciertas poblaciones autóctonas hasta alcanzar el nivel crítico o incluso extinguirse. Un ejemplo típico es el de los mosquitos, cuyos huevos fueron transportados en el siglo XIX desde Manila a las islas Hawai en los barriles de agua a bordo de los barcos balleneros. Estos insectos transmitieron a los pájaros ciertas enfermedades, que ocasionaron la desaparición de poblaciones enteras que vivían habitualmente a altitudes inferiores a los 900 m (de hecho, los mosquitos no se presentan a cotas mayores). Aunque de distinto tipo, otro ejemplo de extinción provocada por la introducción de un animal nuevo en un ambiente determinado se produjo en 1894, cuando un guardián de faro pasó a la deshabitada isla de Steward, en Nueva Zelanda. Al descubrirse que su gato estaba exterminando un tipo de pájaro hasta el momento desconocido (el reyezuelo de la isla Stephens) era ya demasiado tarde: el pájaro se había extinguido totalmente. Otro caso que puede servir como ejemplo del peligro que supone la introducción de especies animales en ambientes extraños es el que se produjo en las islas Galápagos, a



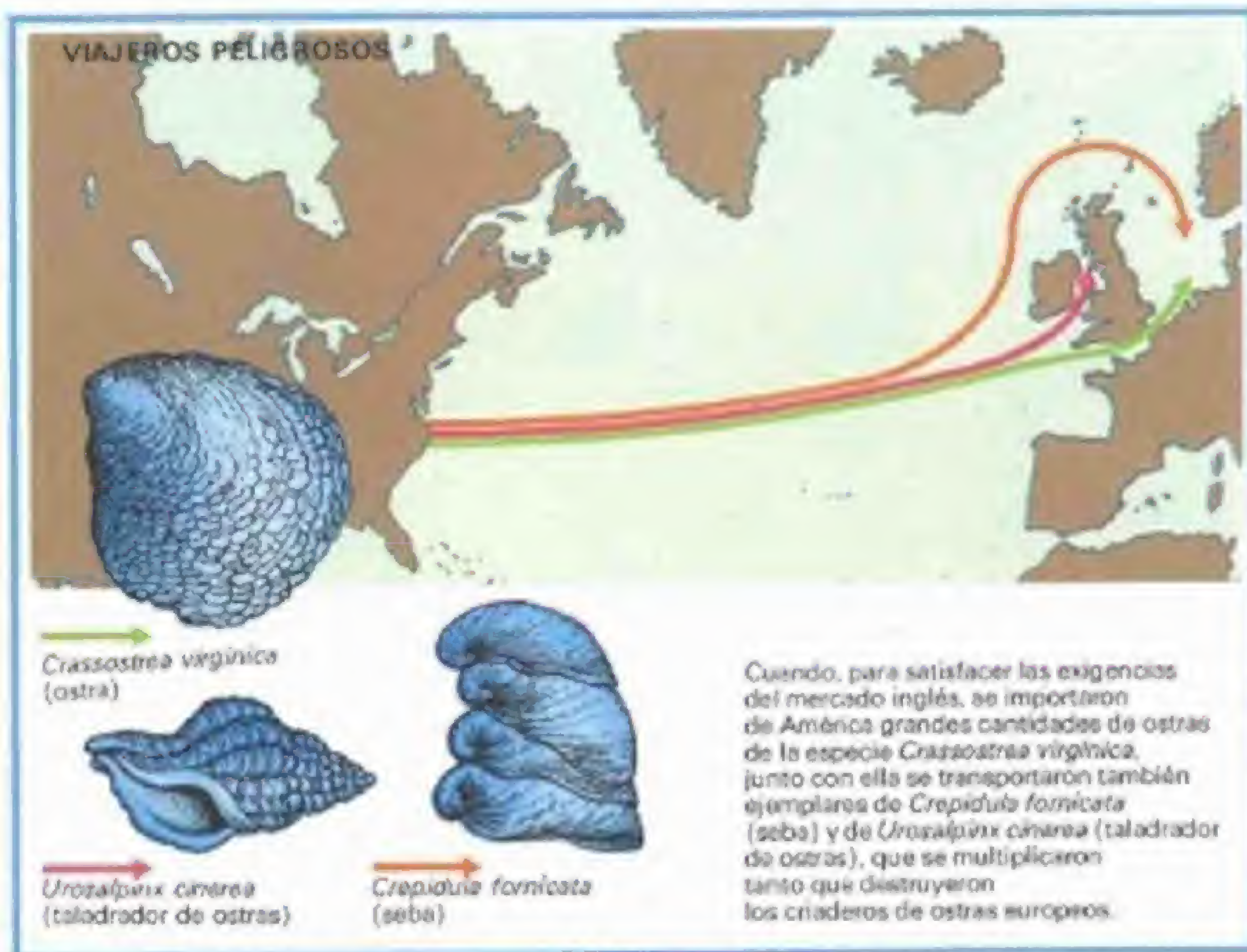


En los dibujos aparecen algunas especies en peligro de extinción a causa de la actividad humana. La contaminación de las aguas por vertidos industriales tóxicos y pesticidas mata directamente a algunas especies acuáticas, como pequeños peces y moluscos, e indirectamente a grandes aves acuáticas que se nutren de ellos por la ingestión de las sustancias venenosas acumuladas en los tejidos de dichos peces, plantas y moluscos, ya que aquéllas impiden a veces la formación de la cáscara de los huevos. El oso sólo puede vivir si tiene a su disposición entre 25 y 50 km² de bosque para cada individuo, y, por lo tanto, para la supervivencia de grupos de numerosos individuos hacen falta grandes extensiones de bosques: si el territorio se fragmenta excesivamente, la especie queda abocada a su extinción. La casi total desaparición de la ballena azul, el animal de mayor tamaño que haya existido nunca, se debe a la caza indiscriminada realizada por el hombre, que ha reducido drásticamente el número de sus individuos.





Al lado, algunas especies de animales desaparecidas, directa o indirectamente, a causa de la actividad humana. De izquierda a derecha, el dodó, gran ave no voladora que vivía en la isla Mauricio; el pez-perca de Rumania, que vivía en algunos ríos de la cuenca del Danubio; la cotorra de Carolina, que vivía en la parte oriental de Estados Unidos; el uro, considerado como el antepasado de los bóvidos domésticos, que vivía en la región paleártica.



Cuando, para satisfacer las exigencias del mercado inglés, se importaron de América grandes cantidades de ostras de la especie *Crassostrea virginica*, junto con ella se transportaron también ejemplares de *Crepidula fornicata* (seba) y de *Urosalpinx cinerea* (taladrador de ostras), que se multiplicaron tanto que destruyeron los criaderos de ostras europeos.

cierta distancia de la costa de Ecuador, cuando unos marineros soltaron allí cabras para que sirvieran de alimento a las tripulaciones que tuvieran que recalar en dichas islas. Las cabras eliminaron totalmente la vegetación, privando así a los galápagos de su alimento y de los refugios necesarios para su supervivencia.

Por qué es necesario el control de las especies Se calcula que las especies animales existentes actualmente suponen el 2% escaso de todas las especies que han habitado la Tierra a lo largo de la historia de nuestro planeta. La evidente y sorprendente capacidad de adaptación de estos animales constituye de por sí un motivo suficiente para que el hombre se preocupe de que puedan seguir viviendo. Además, hay otras razones de índole práctica: los animales y las plantas contribuyen a mantener el equilibrio ecológico necesario para que la vida, tal como nosotros la conocemos, pueda continuar; proporcionan, además de los alimentos y vestido, una serie de recursos de enorme importancia para la economía de la Humanidad. Hay también algunos animales cuya utilidad es evidente en los laboratorios para la investigación científica, como, por ejemplo, las cobayas o los chimpancés.

Qué se puede hacer por las especies en peligro En Estados Unidos y en algunos otros países se han promulgado leyes que limitan el uso de insecticidas, como el DDT, que constituyen un peligro para la supervivencia de las especies animales. Además, una legislación específica para la protección de animales ha contribuido a centrar la atención mundial sobre el problema del nivel crítico y de la extinción de los animales. La ley para especies en peligro, promulgada en 1966 en Estados Unidos, es una piedra angular para las demás leyes de este tipo. Dicha ley asignaba una subvención económica para la creación y funcionamiento de un organismo cuyo fin era la protección de la flora y la fauna silvestres de la nación, con el objeto de salvar las especies y hábitats en grave peligro.

La protección de los animales y del hábitat se dificulta más todavía por la limitación de fondos y de espacios. Por un lado, se impulsa una política a favor del cuidado y la conservación del medio ambiente en general, para poder obtener beneficios de todas las especies; por otro, se actúa con una política selectiva, es decir, que favorece exclusivamente a algunos animales que tienen mayor importancia desde el punto de vista económico o que tienen más peso sobre la opinión pública. Otro problema de difícil solución es el de la protección de las especies migratorias, como, por ejemplo, la cigüeña o la grulla americana (*Grus americana*), que, dependiendo de las estaciones, se desplazan de unas latitudes a otras.

Además de las leyes para la protección de animales en estado libre, hay también algunas instituciones, como los parques nacionales, los criaderos de animales salvajes y los jardines zoológicos, que intentan protegerlos de la extinción, pero a costa de mantenerlos en cautividad. Esto presupone generalmente la utilización de técnicas especiales como la inseminación artificial (las hembras son fecundadas clínicamente) y la estimulación de la producción de huevos, que se realiza "retirándolos" de los nidos para que las hembras de los pájaros pongan el mayor número posible de huevos (nidada) en el transcurso de un período reproductivo. Los huevos son incubados y los polluelos son criados por el hombre o por aves de otra especie que actúan como "padres adoptivos".

Ya que existe una preocupación cada vez mayor por los problemas de especies en peligro, los jardines zoológicos han cambiado profundamente su fisonomía, objetivos y funcionamiento respecto a lo que eran antes. Originariamente se construían como lugar de entretenimiento para las personas, y por lo tanto debían presentar la mayor gama posible de especies sin prestar demasiada atención a las condiciones de vida de los animales. Actualmente se tiende a reunir un número determinado de individuos de algunas especies y, en lugar de exhibirlos en jaulas, se recrea para ellos un ambiente lo más cercano posible a su hábitat natural. Hoy en día se está intentando la colaboración entre zoológicos de diversas zonas del mundo, intercambiándose animales para poder conseguir la reproducción en cautividad y poniendo en común experiencias e informaciones propias. Para el cuidado de las especies animales existentes en la Tierra, no es suficiente ese tipo de colaboración entre instituciones como los jardines zoológicos; también las naciones deberían colaborar entre ellas y, fronteras adentro, resolver los problemas que pudieran surgir en relación con las exigencias de las distintas especies y la protección del medio ambiente.

Véase **Contaminación; Ecología**

Antena

La antena constituye la parte transmisora o receptora de medios como la radio y la televisión. Una *antena transmisora* es una estructura metálica que emite ondas de radio a partir de una corriente alterna, llamada *señal*, proporcionada por la estación transmisora. Se llama *antena receptora* a una estructura también metálica que capta las ondas de radio y las vuelve a convertir en una señal, que es procesada en la estación receptora. Estos receptores —los aparatos de radio o televisión— convierten la señal recibida en sonidos e imágenes perceptibles.

Las instalaciones de radio y televisión están formadas por un sistema de componentes que transforma sonidos e imágenes en ondas de radio y viceversa. Para entender la función de la antena dentro de este sistema nos tenemos que adentrar en el complejo y fascinante mundo de las ondas electromagnéticas.

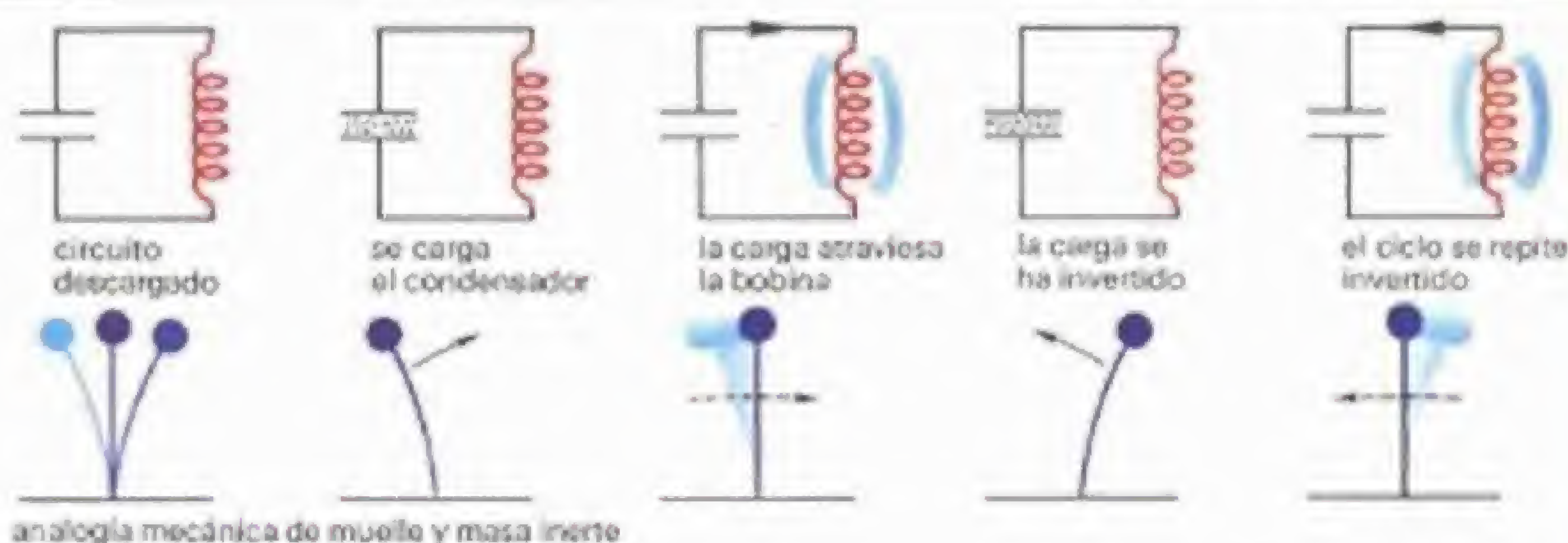
Ondas electromagnéticas Las ondas electromagnéticas pueden considerarse como uno de los resultados de la interrelación entre electricidad y magnetismo. Campos eléctricos variables originan campos magnéticos también variables, orientados perpendicularmente a los campos eléctricos que los originan, y viceversa. Uno de los fenómenos más interesantes de la Naturaleza es precisamente la forma en que un campo magnético variable produce un campo eléctrico variable, que a su vez produce un campo magnético variable, y así sucesivamente. La combinación de estos campos eléctricos y magnéticos variables origina las conocidas *ondas electromagnéticas*. Se definen como ondas porque la manera de formarse y de propagarse, tanto en los campos magnéticos como en los eléctricos, es muy similar a como lo hacen las olas del océano. La distancia entre dos crestas sucesivas de una onda se llama *longitud de onda*.

Transmisión y recepción El proceso por el que una antena origina una onda electromagnética se llama *transmisión* o *radiación*. En la transmisión se hace que la señal, generada en la estación transmisora y consistente en una corriente alterna, circule a través de la antena, que la emite al espacio.

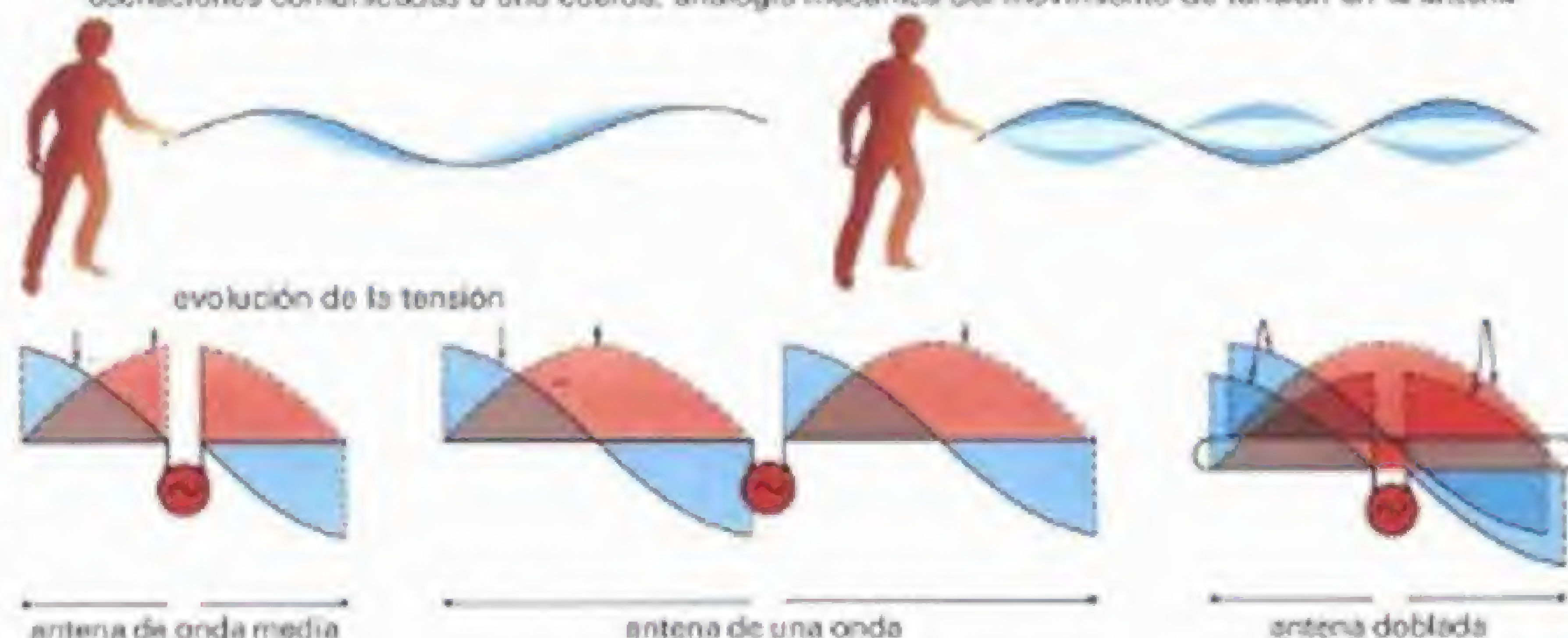
Si se sujeta el extremo de una cuerda de algunos metros de longitud, mientras otra persona sujeta el otro extremo, al mover lentamente un extremo hacia arriba y hacia abajo, se moverá toda la cuerda a la vez y no se producirán ondas. Si, en cambio, se produce el movimiento de forma rápida, se formarán unas ondulaciones que se empujarán unas a otras hacia adelante, originando ondas que recorrerán toda la cuerda, de la misma forma que sucede con las olas del mar. De igual manera, la corriente alterna de una determinada frecuencia origina un campo magnético alterno alrededor de la antena. Dicho campo magnético variable crea un campo eléctrico también variable, y así sucesivamente. Las ondas que resultan de los campos eléctricos y magnéticos, perpendiculares entre sí, salen desde la antena a la velocidad de la luz y se propagan como ésta.

En la recepción el proceso es exactamente el contrario: las ondas electromagnéticas producen en la antena receptora corrientes alternas, que son enviadas a la estación receptora para ser transformadas en sonidos e imágenes. Este proceso es similar al caso en que la otra persona sujetara el otro extremo de la cuerda con la mano "relajada", moviéndose entonces hacia arriba y hacia abajo por las ondas producidas por el primer impulsor, con movimientos similares a los de éste.

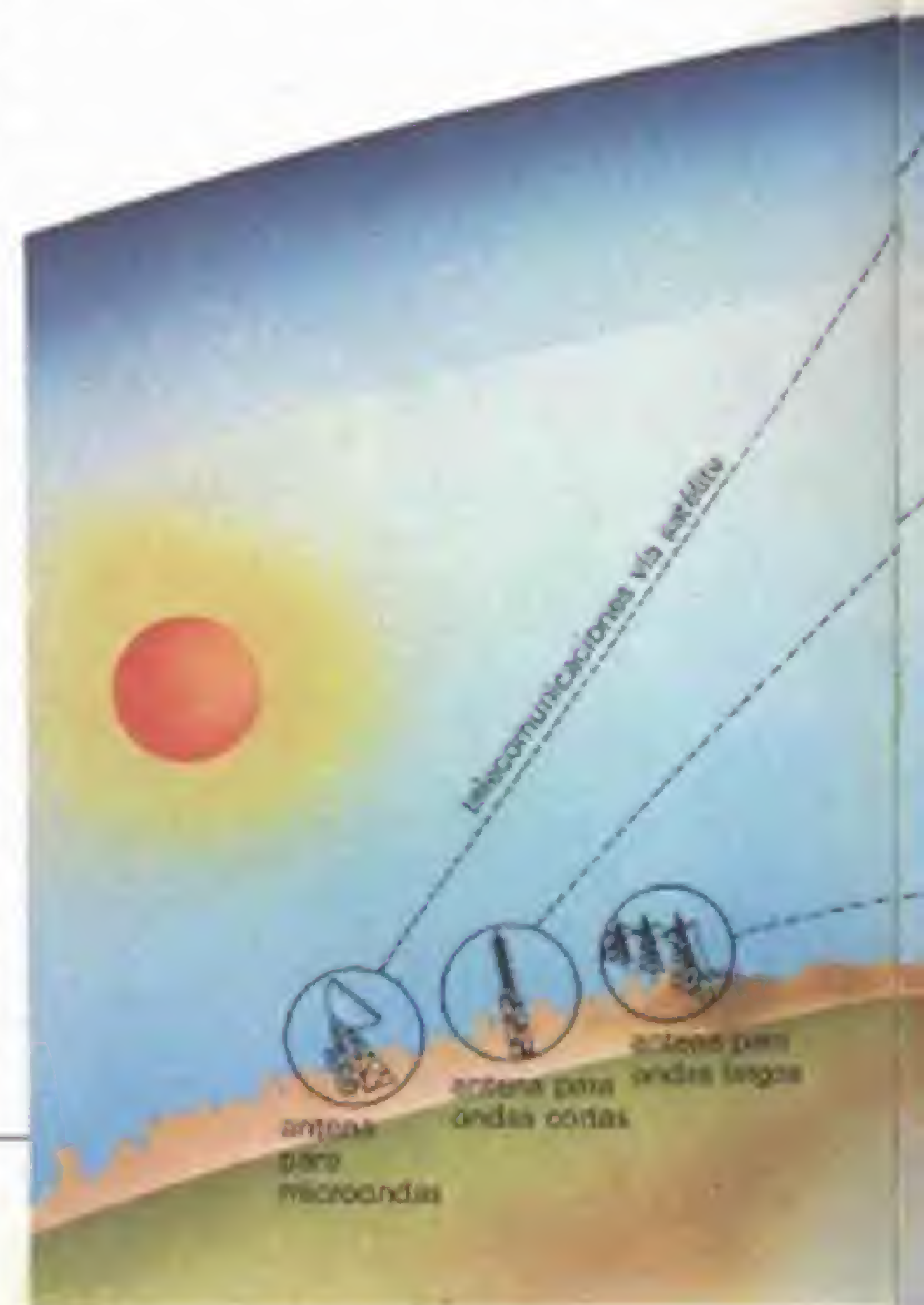
Cuando las ondas electromagnéticas se emiten desde la antena, disminuye paulatinamente su intensidad, lo mismo que sucede con las ondas producidas al arrojar una piedra en un lago, que, al expandirse desde el punto en el que se ha lanzado la piedra, se debilitan con la distancia. Aunque las antenas emitan ondas electromagnéticas en todas las direcciones, lo normal es que sean más intensas en unas direcciones que en otras. Además, las estaciones transmisoras tienen una *onda de tierra* muy intensa (se llama así porque la onda viaja paralela al suelo, mientras que por *onda espacial* se entiende una onda dirigida hacia arriba). A veces una onda espacial puede chocar con estratos superiores de la atmósfera y reflejarse varias veces entre esos estratos, viajando alrededor de la Tierra antes de volver al suelo. Antes del uso de



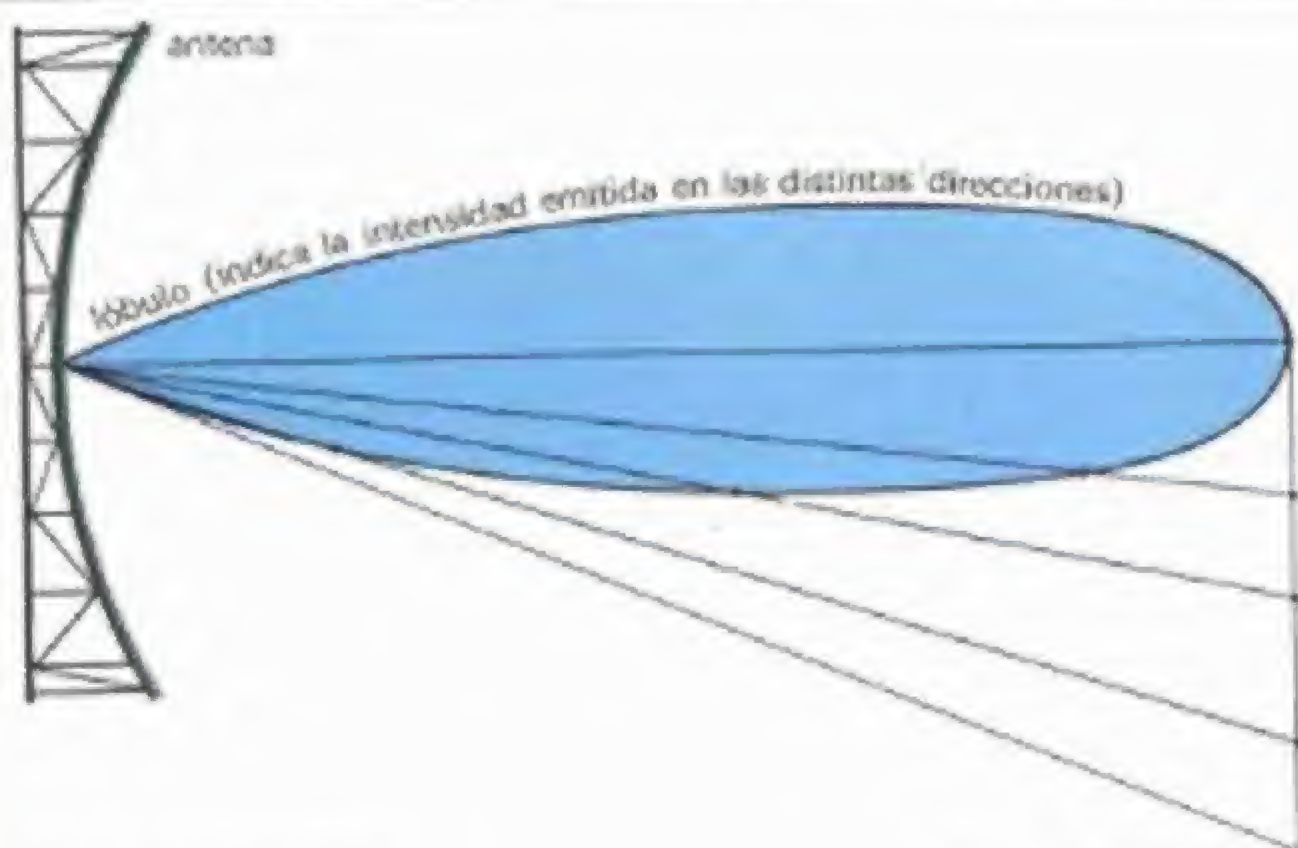
En su forma más simple, una antena es una varilla metálica en cuyos extremos se produce periódicamente una diferencia de potencial; si el período con el que cambia la polaridad es pequeño, se emite una onda electromagnética. La manera de modular esta onda para que se propague un mensaje es tarea de la electrónica. Se puede establecer un paralelismo entre un circuito eléctrico oscilante (arriba) y un sistema mecánico vibrante (abajo). La carga eléctrica se traslada de forma alterna del condensador a la bobina.



Arriba se representa otra comparación, en este caso entre la onda emitida por una antena y la producida por un hombre que haga oscilar una cuerda. Según se mueva la mano del hombre y según sean la longitud y peso de la cuerda, se obtendrán distintas formas y, sobre todo, longitudes de onda. En la parte de abajo se puede ver cómo el mismo oscilador es capaz de hacer que antenas distintas emitan con la misma longitud de onda.



los satélites, la comunicación por radio a larga distancia era posible gracias a las ondas espaciales reflejadas en los estratos altos de la atmósfera.



A la izquierda, el lóbulo, que es el elemento más importante en una antena. Esta no emite la onda electromagnética con la misma intensidad en todas las direcciones: el diagrama de la intensidad emitida en cada dirección toma la forma de un huso, en este caso bastante alargado. Según sean la forma de la antena y la longitud de onda a la que emita, varía la forma del lóbulo principal, al que se le unen otros, llamados secundarios. Debajo, algunos ejemplos.

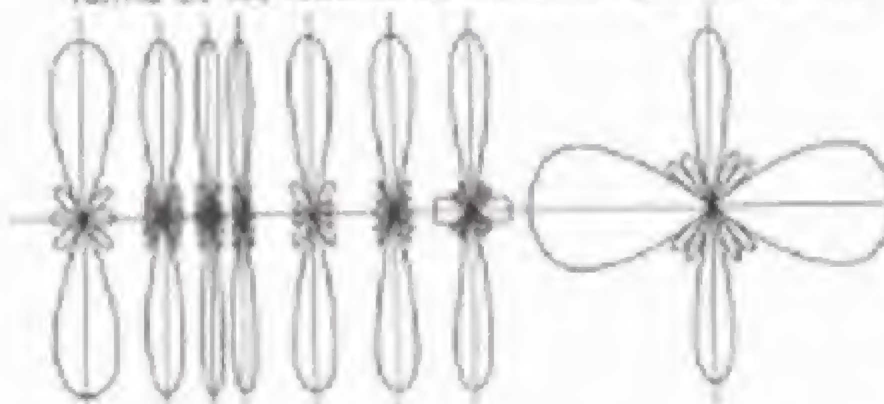
lóbulo orientado lejos del emisor, no hay recepción







forma de los lóbulos de distintos tipos de antena



Abajo, transmisiones a larga distancia, trayectorias de los distintos tipos de ondas y antenas más eficaces para cada tipo de emisión. Para transmitir a distancias intercontinentales vía satélite son necesarias ondas muy cortas, que son las únicas capaces de atravesar la barrera de la ionosfera, ya que las ondas de longitud más larga se reflejan. Como las antenas emiten estas ondas con un lóbulo muy amplio, es necesario enfocarlas con una antena parabólica (a la izquierda). Las ondas métricas (llamadas también de *banda HF*) son reflejadas entre la ionosfera y el suelo, de forma que alcanzan distancias intercontinentales. También se pueden alcanzar grandes distancias con ondas largas, pero se necesitan antenas de excesiva altura, incluso de centenares de metros.

Tipos de antenas Las antenas se pueden construir de forma que transmitan o reciban ondas de radio de distintas frecuencias. Las frecuencias usadas por las emisoras de onda media (AM, modulación de amplitud) van de 535 a 1.605 kHz (kilohertzios). A 1.000 kHz la longitud de onda es aproximadamente de 300 m, para la cual la magnitud de la antena no es crítica. Las emisoras que trabajan en modulación de amplitud producen normalmente señales potentes que se pueden captar en las cercanías con una antena de cualquier tamaño. Sin embargo, las frecuencias que utilizan las emisoras de modulación de frecuencia (FM) son mucho más altas. La banda de FM va de 88 a 108 MHz (megahertzios); una longitud de onda típica puede ser de 3 m, lo que permite ajustar con más precisión el tamaño de la antena a la dimensión de la onda real, tanto en la emisión como en la recepción. Esto disminuye algunos problemas, ya que las emisoras de FM transmiten con una potencia más baja que las de AM, y se reciben sólo en el campo visual de la antena de la emisora. Las *antenas direccionales*, proyectadas para estar dirigidas hacia la estación transmisora, están dotadas normalmente de un rotor mecánico de antena. Los *radiotelescopios* y *las antenas de microondas* son dos tipos de antenas construidos de forma que capten ciertas bandas del espectro electromagnético.

Véase **Electromagnetismo; Microondas; Movimientos ondulatorios; Radio; Radiocomunicaciones**



Antibióticos

El uso de sustancias obtenidas de un organismo para destruir otros organismos se remonta a hace más de doscientos años, cuando los chinos se dieron cuenta de que las semillas de soja enmohecidas poseían propiedades curativas contra las infecciones. Los antibióticos, cuyo nombre deriva de la palabra griega *antibiosis* ("contra la vida"), son sustancias químicas, producidas por microorganismos, que resultan dañinas para otras estructuras vivientes. A finales del siglo XIX Louis Pasteur y Jules-François Joubert, mientras llevaban a cabo estudios sobre el ántrax del ganado, descubrieron que un microorganismo podía influir en el crecimiento y la supervivencia de otro organismo. En 1928 el inglés sir Alexander Fleming se dio cuenta de que un hongo del género *Penicillium* inhibía el crecimiento de las bacterias en las placas de agar-agar. La producción a gran escala de los antibióticos comenzó durante la II Guerra Mundial y constituyen hoy en día una de las principales clases de fármacos para curar y prevenir las enfermedades infecciosas.

ANTIBIOTICOS Y MECANISMOS DE ACCION	
LUGAR DE LA ACCION ANTIBIOTICA	CLASES DE ANTIBIOTICOS
membrana celular bacteriana	polipéptidos
pared bacteriana	penicilinas cefalosporinas
ribosomas: síntesis proteica	cloramfenicol tetraciclinas
ribosomas: subunidad 30 S	aminoglicósidos
ácidos nucleico	rifamicina

¿Cómo actúan los antibióticos? Los antibióticos pueden ser administrados de diversas formas: inyectados (por vía parenteral), ingeridos (por vía oral) o aplicados sobre la superficie de la piel (tratamiento local). Cuando se administran mediante inyección o por la boca, son absorbidos por el organismo y se difunden por la sangre y por los demás líquidos corporales para combatir a los organismos agresores. Si, por el contrario, se aplican directamente sobre la piel, no puede producirse el mismo tipo de absorción y, por tanto, los antibióticos actúan sólo sobre los organismos presentes en el punto de aplicación. Los tipos de antibióticos que administrados por vía oral no son capaces de alcanzar el foco infeccioso, ya que pueden ser neutralizados por los ácidos del estómago o por los enzimas intestinales, deben ser inyectados directamente por vía intramuscular o endovenosa. Los antibióticos actúan de tres modos principales:

1) acumulándose sobre las membranas de algunas bacterias e impidiendo la formación de una nueva pared celular, bloqueando, por consiguiente, el proceso de mitosis, es decir, la multiplicación y el crecimiento de dichas bacterias;

2) actuando sobre las bacterias en fase de latencia y en fase de reproducción, permitiendo a las sustancias vitales su salida al exterior de las membranas alteradas y provocando así la destrucción de la célula bacteriana;

3) actuando sobre las bacterias interfiriendo en los procesos principales que tienen lugar en el interior de la célula misma, sobre todo durante la producción de proteínas, de las cuales depende totalmente la existencia del microorganismo.

Las bacterias se pueden subdividir en dos grupos principales: los *microorganismos grampositivos* (por ejemplo, estafilococos y estreptococos) y los *microorganismos gramnegativos* (salmonelas, gonococos y meningococos son algunos ejemplos). Los organismos grampositivos, al contrario que los gramnegativos, se tiñen si son tratados con violeta de genciana y después con yodo.

Producción de antibióticos La fermentación es el principal procedimiento utilizado para producir antibióticos. En amplios recipientes se cultivan microorganismos seleccionados de diversos cultivos puros (microorganismos desarrollados expresamente con esta finalidad). Su crecimiento durante el proceso es acelerado con sustancias nutrientes especiales y mediante



Los antibióticos son sustancias producidas por microorganismos capaces de inhibir el crecimiento bacteriano. A la clase de los antibióticos o, mejor, de sus derivados pertenecen incluso las sustancias capaces de inhibir el crecimiento de las células neoplásicas. En la imagen vemos una placa de antibiograma. El antibiograma es un método para valorar la especificidad de los antibióticos simples contra una determinada bacteria. Sobre un medio de cultivo en el que se ha hecho crecer la bacteria estudiada se disponen en sentido circular cantidades análogas de distintos antibióticos. Las zonas de inhibición del crecimiento de la bacteria delineadas sobre la superficie del medio serán tanto más extensas cuanto mayor sea la especificidad del antibiótico. El antibiograma hace posible la elección del antibiótico más adecuado en cada caso.

CLASIFICACION GENERAL DE LOS PRINCIPALES ANTIBIOTICOS

beta-lactámicos: antibióticos bactericidas activos solamente sobre las bacterias en fase activa de multiplicación	penicilinas: derivados de hongos del género *Penicillium*	penicilinas G	bencil-penicilina
			penicilina-procaína penicilina-benzatina penicilina-monoestearato de aluminio
		resistentes a la beta-lactamasa	oxacilina cloxacilina meticilina
		de amplio espectro de acción	ampicilina
			amoxicilina etacilina metampicilina
	cefalosporinas: derivados del hongo *Cephalosporium*	cefalosporinas propiamente dichas	cefacetrile cefalexina cefalotina cefapirina
		derivados de las cefalosporinas	cefaclor cefadroxil cefamandol cefatricina cefsulodin
aminoglicósidos (oligosacáridos): antibióticos bactericidas derivados de cepas de *Streptomyces, Mycrospora, Echinospora*			gentamicina kanamicina neomicina netilmicina ribostamicina estreptomicina
cloramfénicos: antibióticos bacteriostáticos			cloramfenicol tiamfenicol
tetraciclinas: antibióticos bacteriostáticos derivados de cepas de *Streptomyces*			clortetraciclina doxiciclina metaciclina oxitetraciclina tetraciclina
macrólidos: antibióticos bacteriostáticos	macrólidos propiamente dichos		eritromicina oleandomicina espiramicina
	lincomicinas		clindamicina lincomicina
rifampicinas: antibióticos bacteriostáticos			rifamicina rifampicina
quinolonas: de acción fundamentalmente antiséptica			ácido nalidíxico ácido oxolínico ácido pipemídico
polipéptidos: antibióticos bactericidas derivados de cepas de *Bacillus*			bacitracina polimixinas B y E

agitación para adicionar oxígeno. El antibiótico que se forma al final es después filtrado. Actualmente es posible producir muy diversos antibióticos en el laboratorio y provocar transformaciones químicas en los antibióticos obtenidos por fermentación.

Tipos de antibióticos y espectro de acción Los antibióticos se dividen en bacteriostáticos y bactericidas, según que inhiban el crecimiento de los microorganismos o los destruyan completamente. Los antibióticos de amplio espectro, entre los que se encuentran las tetraciclinas, actúan sobre múltiples tipos de bacterias; mientras que, por el contrario, los antibióticos de espectro estrecho, como por ejemplo la penicilina, se limitan a actuar sólo contra unas pocas especies de bacterias.

Las enfermedades infecciosas son provocadas por muchos tipos de microorganismos. Los antibióticos son eficaces contra algunos de ellos (por ejemplo, las bacterias y las rickettsias), pero son ineficaces contra otros (por ejemplo, los virus).

Reacciones a los antibióticos En 1907 el científico Paul Ehrlich dijo: "Estamos buscando sustancias capaces de destruir algunos parásitos sin ser, sin embargo, demasiado tóxicas para el organismo". Este objetivo ha sido en cierto modo logrado, aun cuando los antibióticos, como todos los medicamentos, no estén nunca totalmente libres de efectos colaterales. Los tres tipos principales de reacciones negativas son:

1) efectos tóxicos indeseables sobre las células normales del cuerpo;

2) reacciones de hipersensibilidad o alérgicas que pueden provocar eritemas cutáneos de escasa importancia, pero también enfermedades graves o incluso la muerte;

3) trastornos intestinales provocados por una alteración del equilibrio normal de las

4

ADN

La acción de algunos antibióticos tiene lugar sobre el material nuclear responsable de la herencia, esto es, el ADN de la bacteria. El código genético es, por tanto, transcrito de modo incorrecto, con producción de proteínas incompatibles con la propia vida del microorganismo.

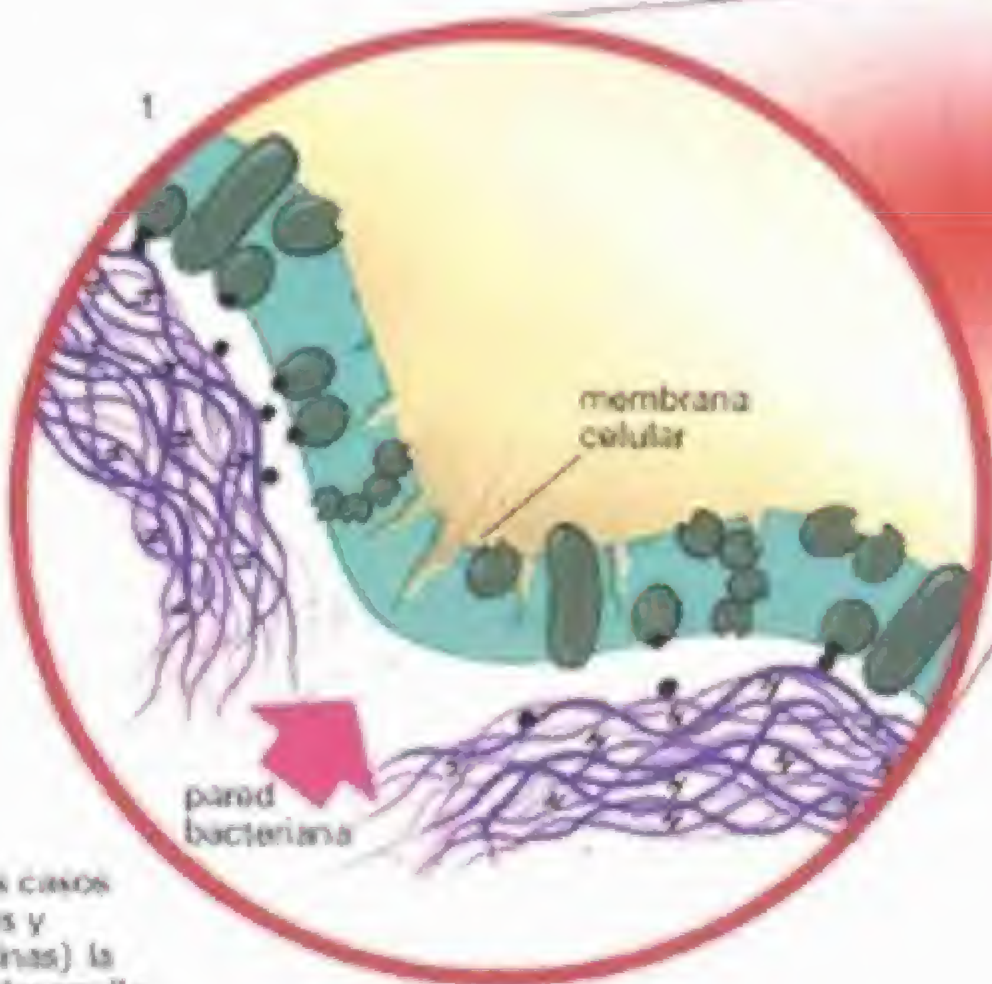
cilio

cilio

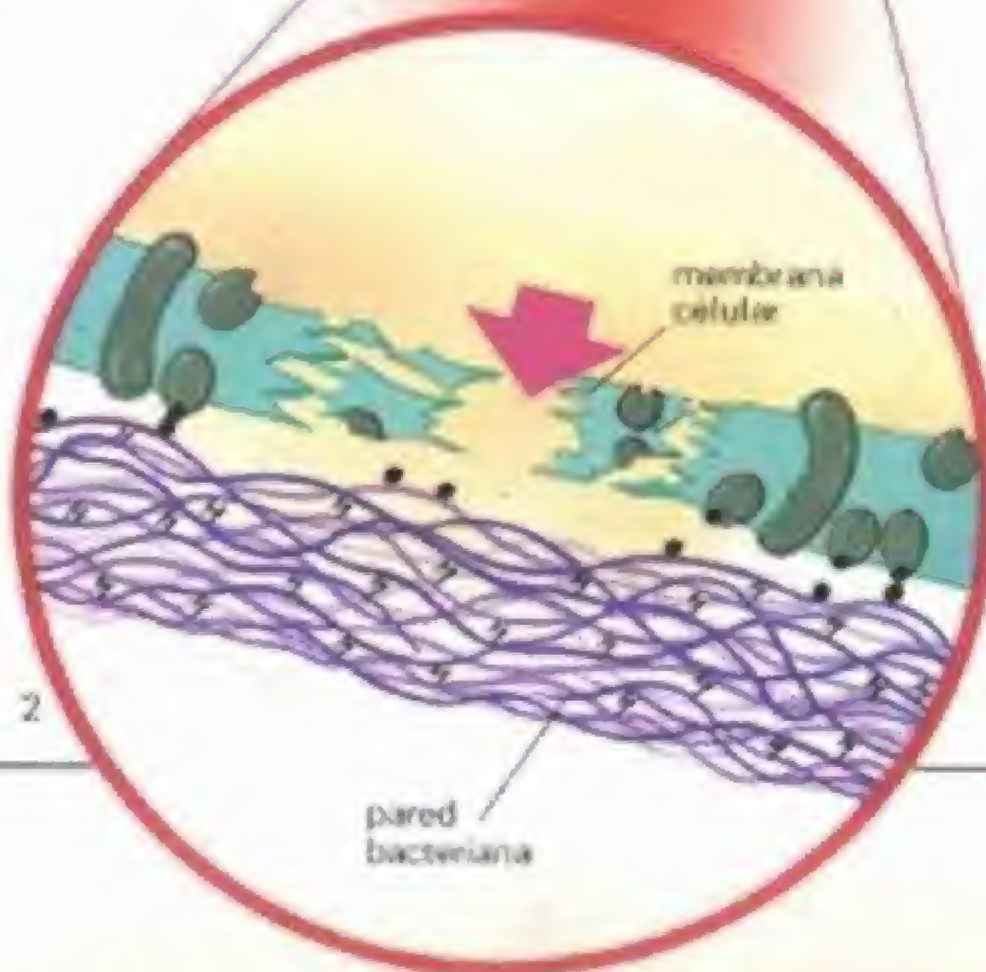
material nuclear

pared bacteriana

citoplasma

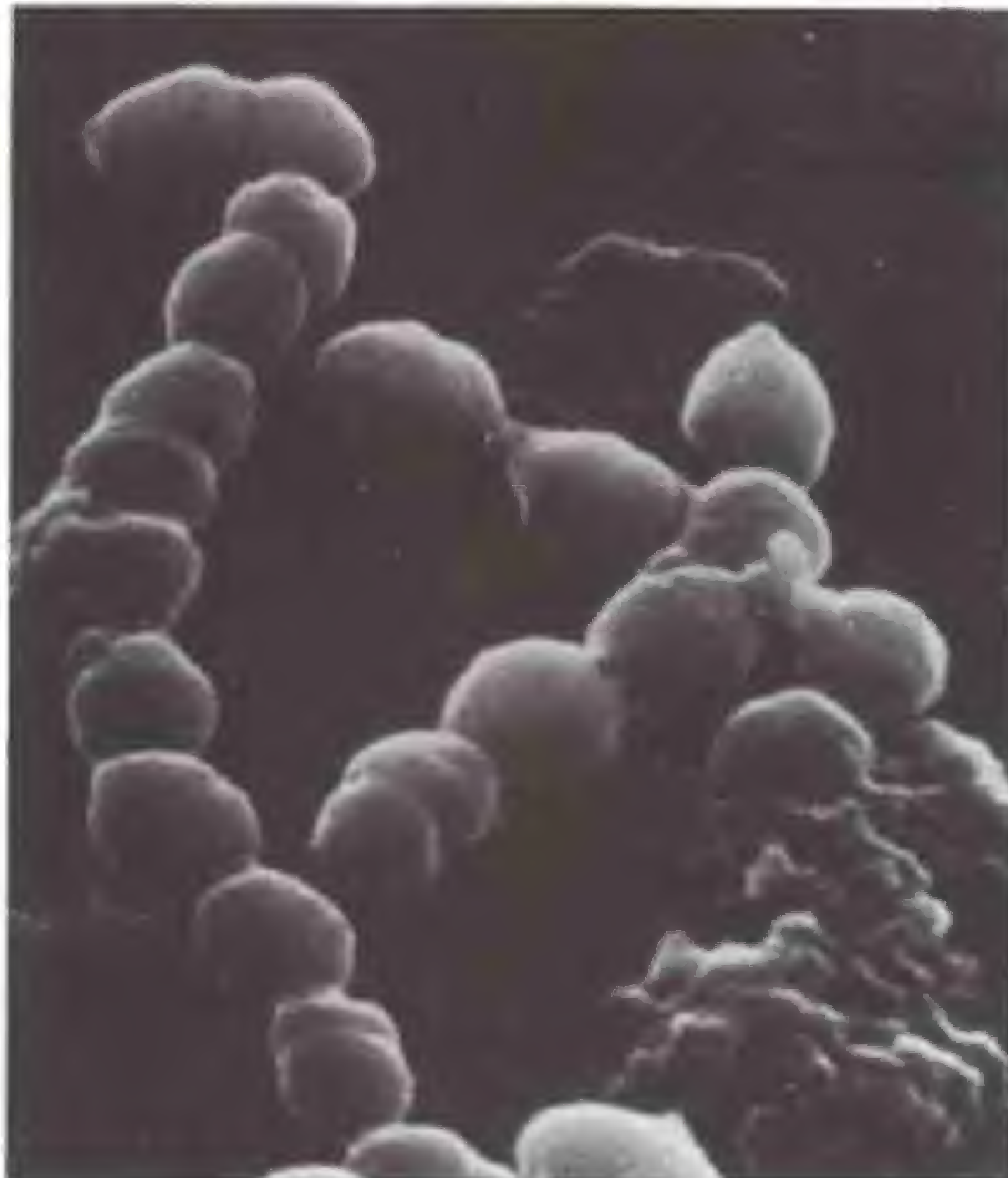


En algunos casos (penicilinas y cefalosporinas) la acción se desarrolla a nivel de la pared bacteriana, con alteraciones en las propiedades osmóticas del microorganismo.



Los polipéptidos de acción bacteriana, como las polixinas, actúan en la membrana celular, causando rupturas que provocan la alteración de los componentes endocelulares.

En la fotografía de al lado puede verse la lisis de una colonia bacteriana, concretamente de estreptococos, por obra de un antibiótico a base de penicilina semisintética. Los antibióticos semisintéticos se obtienen a partir de los naturales, induciendo en ellos modificaciones químicas que potencian su capacidad bactericida.



bacterias intestinales a causa de la administración oral de los antibióticos.

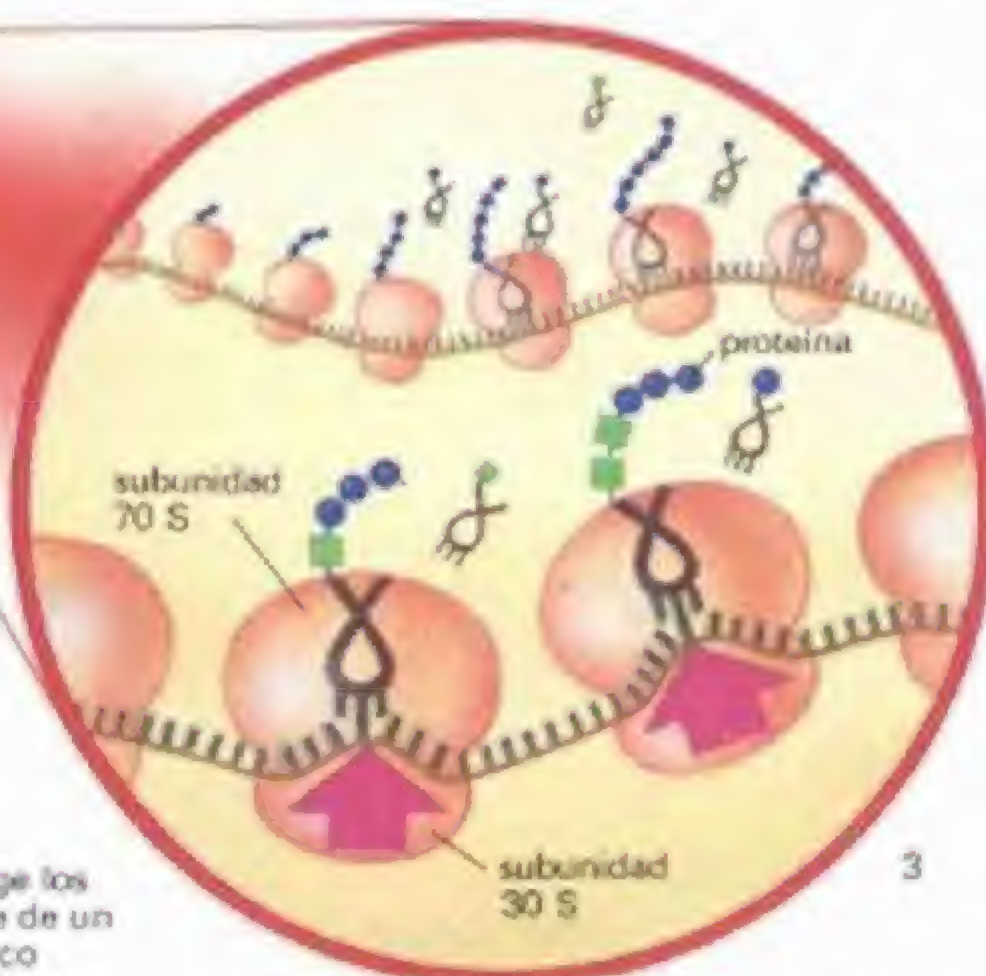
Es importante que el médico prescriba y controle la dosificación de los antibióticos, ya que algunas de estas sustancias pueden resultar peligrosas si se utilizan de modo inadecuado. Por ejemplo, el oído interno, con su delicado aparato del equilibrio, es particularmente vulnerable, así como también lo es el riñón. Durante un tratamiento a base de antibióticos puede sobrevenir un segundo tipo de infección, la denominada *superinfección*: este fenómeno tiene lugar cuando un microorganismo insensible al antibiótico continúa reproduciéndose y entra en competición con los constituyentes de la flora bacteriana normalmente presente en el cuerpo. El uso intermitente de uno o más medicamentos aumenta la posibilidad de reacciones negativas a causa de la repetida exposición a éstos. Los microorganismos tienen siempre una capacidad de reaccionar, principalmente a los medicamentos que se utilizan para destruirlos, y pueden llegar a ser resistentes a los mismos. Es posible que algunos tipos de microbios se vuelvan resistentes a un antibiótico, convirtiendo así al medicamento en totalmente ineficaz. Afortunadamente, en la mayor parte de los casos es posible hacer frente a este proceso.

Importancia de los antibióticos Los antibióticos son prácticamente los únicos medicamentos capaces de curar las enfermedades destruyendo su propia causa, es decir, los microorganismos. La importancia extrema de los antibióticos en lo que se refiere a la salvación de vidas y a la reducción de la gravedad de algunas enfermedades resulta evidente si se comparan las cifras de fallecimientos causados por algunas infecciones comunes antes y después del descubrimiento de estos "medicamentos portentosos". En los Estados Unidos, durante los años treinta, la tasa de mortalidad a causa de neumonía oscilaba entre el 20 y el 85%. En los años sesenta era del 5%. El número de personas cuya muerte se debe a una infección de una válvula cardiaca ha pasado de cerca de un 100% al 5%. La meningitis cerebro-espinal, que durante un tiempo ocasionaba la muerte de más del 90% de las personas afectadas, hoy día afecta mortalmente sólo al 2% de los enfermos. La muerte por fiebre tifoidea tiene lugar en la actualidad solamente en el 10% o menos de los casos. Los antibióticos han sido muy importantes en el tratamiento de las enfermedades venéreas, sobre todo de la sífilis.

El mérito de una mejor salud, una vida más larga y una menor tasa de mortalidad no corresponde únicamente a los antibióticos; va unido también a otros factores, entre los que destacan las modernas condiciones sanitarias, la inmunización contra muchas enfermedades y la mayor importancia dada a una alimentación equilibrada. Sin embargo, permanece aún el hecho de que la mayor parte de los posibles fallecimientos debidos a infecciones o contagios son evitados en la actualidad gracias a los tratamientos con antibióticos.

Algunos antibióticos tienen además otras aplicaciones, ya que potencian el crecimiento del ganado, por lo que suelen incorporarse en pequeñas dosis al pienso. Algunos se utilizan también para combatir enfermedades fúngicas —como la roya y el tizón— de las plantas cultivadas.

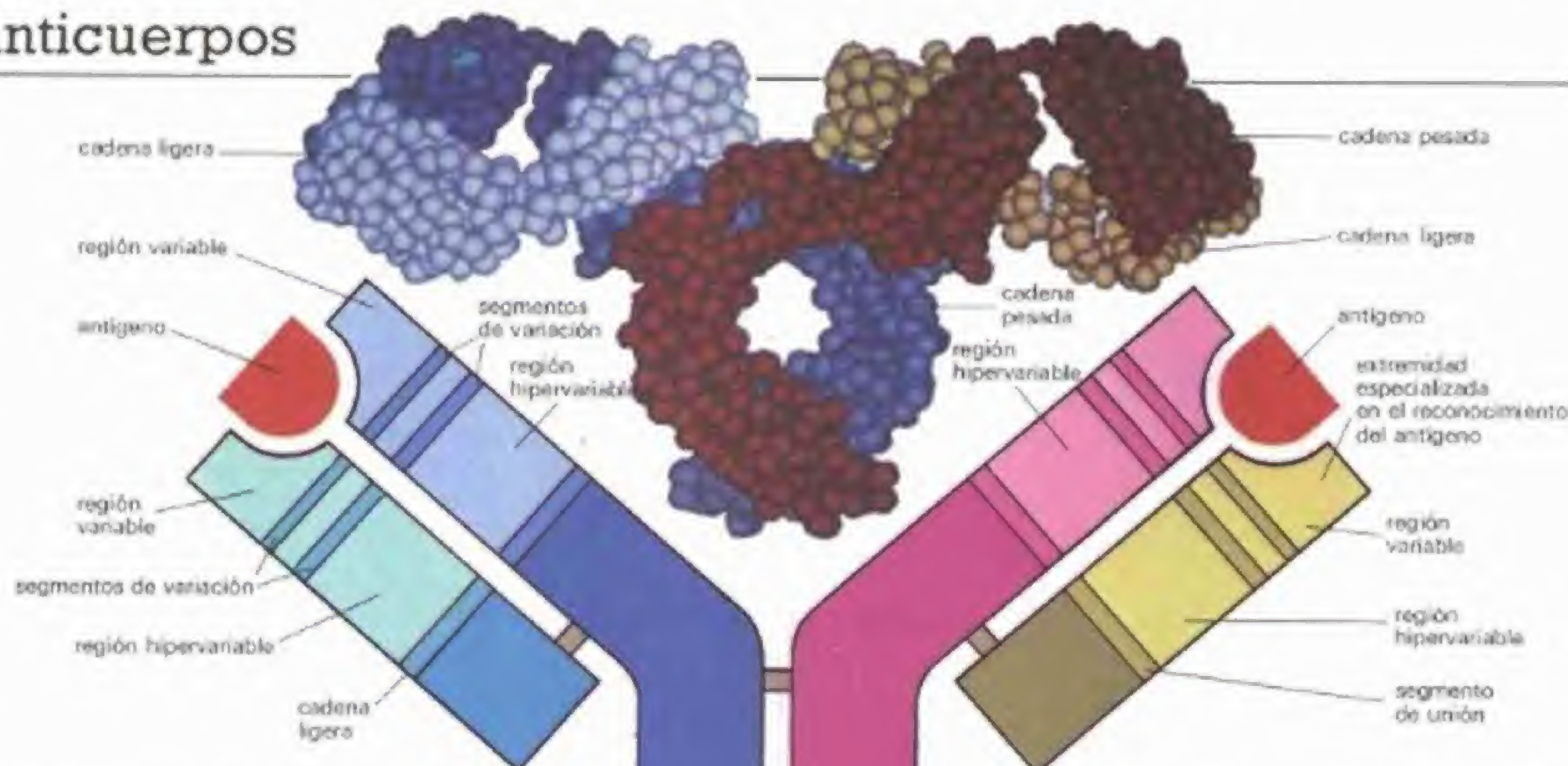
Véase **Bacterias**



En el caso del cloramfenicol y las tetraciclinas, la acción se explica a nivel de la síntesis proteica y, en el caso de los aminoglicósidos, a nivel de la subunidad 30 S de los ribosomas con alteración de la síntesis. Las subunidades 70 S y 30 S son las dos estructuras que componen el ribosoma, y cuyos nombres derivan de la unidad Svedberg de ultracentrifugación mediante la cual son obtenidas.

El esquema recoge los puntos de ataque de un fármaco antibiótico a nivel del organismo bacteriano. En el círculo 1 vemos la acción del antibiótico explicada a nivel de la pared bacteriana: la síntesis de la pared es inhibida por el antibiótico y la diferencia entre las presiones osmóticas del interior y del exterior de la célula determina la ruptura de ésta. En el círculo 2 se aprecia la acción de un antibiótico sobre la membrana citoplasmática. En este caso, la rotura de la propia membrana determina la salida al exterior del contenido de la célula. En el círculo 3 se aprecia la acción de un antibiótico sobre la síntesis proteica, con la consiguiente inhibición de la producción de proteínas y muerte celular por carencia de estos pilares orgánicos fundamentales para cualquier organismo viviente. Finalmente, en el círculo 4 vemos la acción de un antibiótico sobre las estructuras íntimas de la célula, como puede ser el ácido desoxirribonucleico (ADN).

Anticuerpos



Los *anticuerpos* son sustancias que se producen en el organismo como consecuencia de la presencia de un "agente extraño", es decir, de un *antígeno*, que puede ser una bacteria, un virus, otra célula extraña o una proteína; por este motivo, cuando se habla de la función de un anticuerpo se hace siempre referencia a algo extrínseco al propio organismo. Un anticuerpo es el mejor "amigo" del organismo humano, ya que su misión principal es combatir a los organismos causantes de las enfermedades. Más específicamente, un anticuerpo es una molécula proteica de la sangre producida por los linfocitos, un tipo especial de glóbulos blancos dotados de un único núcleo grande y redondeado. El organismo es capaz de sintetizar millares de anticuerpos distintos, cada uno de ellos en respuesta a un antígeno específico, y cada uno de ellos también producido por una determinada célula linfocitaria, o bien por sus descendientes, que en conjunto reciben el nombre de *clon celular*.

La función de los anticuerpos Dado que los anticuerpos actúan en relación con los antígenos, su función puede ser explicada mejor describiendo las modalidades operativas con respecto a un antígeno específico, por ejemplo un virus. La inmunidad frente a las infecciones víricas depende de la cantidad y calidad de los anticuerpos y de su disponibilidad para defender las células expuestas a las infecciones víricas.

Pocos días después de producirse la infección, los anticuerpos comienzan a hacer su aparición en la sangre, y su concentración alcanza los niveles más altos entre la segunda y la tercera semana. El organismo continuará produciendo anticuerpos incluso después de curada la infección, si bien a un ritmo más lento. En algunas enfermedades, entre las que se encuentran el sarampión y la fiebre amarilla, la inmunidad perdura durante toda la vida, ya que se trata de procesos en los que la expresión de los síntomas viene precedida por el



El sistema inmunitario del hombre constituye una red de elementos repartidos por todo el organismo. Los linfocitos, células de la función inmunitaria por excelencia, son producidos por la médula ósea; a través del sistema de vasos linfáticos y de la sangre, se trasladan al timo, al bazo y a los ganglios linfáticos. Un tipo muy especializado de linfocitos se encarga de la producción de anticuerpos, moléculas proteicas destinadas a unirse a los antígenos y a bloquear su acción. El dibujo representa un modelo de una molécula de anticuerpo; se trata de una estructura con cuatro cadenas polipeptídicas, dos ligeras y dos pesadas. En cada cadena hay una región constante y una región variable; esta última posee una secuencia específica de aminoácidos que difiere de un anticuerpo a otro. La función de empalme con el antígeno se desarrolla por las regiones hipervariables, altamente específicas. En la parte superior se muestra un modelo de molécula de anticuerpo donde cada esfera representa un residuo aminoacídico. (*Le Science*, 167, 1982)

paso del virus a través del medio sanguíneo. Es posible, por lo tanto, prevenir nuevos ataques del virus, debido a que tras el proceso infeccioso la sangre se encuentra llena de anticuerpos. Sin embargo, existen otros virus que no pasan a través de la sangre, como es el caso del virus de la gripe. Este tipo de virus pasa de una célula a otra sobre la superficie de las vías aéreas del sistema respiratorio. Bajo estas circunstancias, la concentración de anticuerpos en las vías respiratorias es siempre menor que la que existe en la sangre y, por consiguiente, la relación entre los antígenos virales y los anticuerpos protectores se lleva a cabo en unas condiciones desfavorables para garantizar una total protección. Por estas razones, la inmunidad contra la gripe tiene una duración mucho más breve que la de aquellas otras enfermedades en que el virus pasa a la sangre antes de comenzar a provocar los síntomas.

Tipos de anticuerpos Los anticuerpos que se encuentran en el organismo en condiciones normales se denominan *anticuerpos naturales*, ya que su producción no depende de ningún antígeno conocido. Este

tipo de anticuerpo desempeña un papel clave en el estudio de la inmunidad natural.

El término *autoanticuerpo* se aplica a los anticuerpos que actúan en el organismo de un individuo en contra de los propios tejidos de ese organismo. Algunos autoanticuerpos son inocuos; sin embargo, otros pueden inducir síntomas de enfermedad.

La mayor parte de los anticuerpos se denominan *calientes* porque funcionan a la temperatura corporal normal, pero algunos, llamados *fríos*, reaccionan con los antígenos solamente a temperatura inferior a la normal, manifestándose espontáneamente durante el transcurso de la enfermedad.

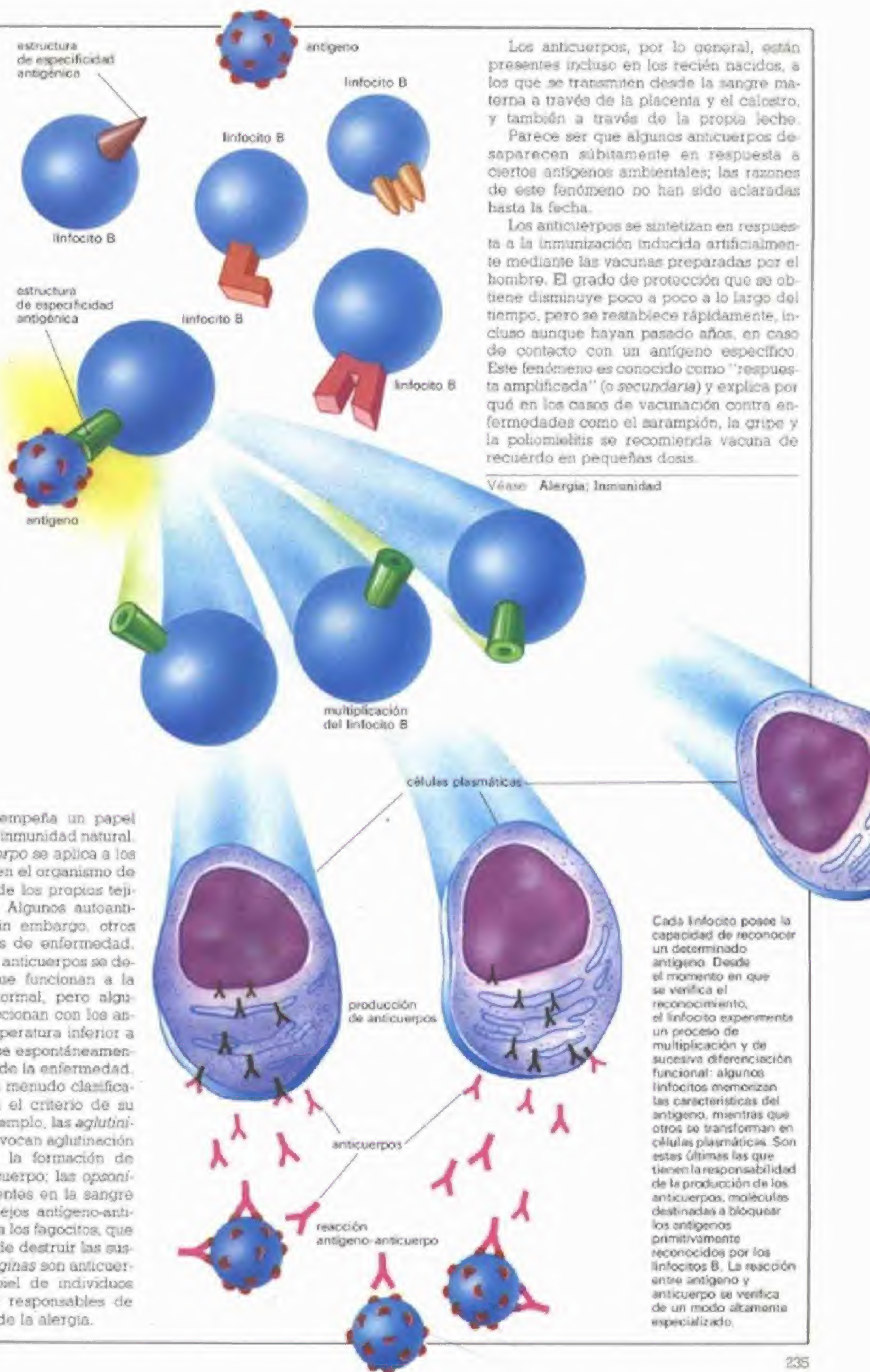
Los anticuerpos son a menudo clasificados y estudiados según el criterio de su acción específica. Por ejemplo, las *aglutininas* (anticuerpos que provocan aglutinación de elementos) originan la formación de complejos antígeno-anticuerpo; las *opsoninas* son sustancias presentes en la sangre que elaboran los complejos antígeno-anticuerpo más vulnerables a los fagocitos, que son las células capaces de destruir las sustancias extrañas. Las *reaginas* son anticuerpos localizados en la piel de individuos alérgicos y pueden ser responsables de muchos de los síntomas de la alergia.

Los anticuerpos, por lo general, están presentes incluso en los recién nacidos, a los que se transmiten desde la sangre materna a través de la placenta y el calostro, y también a través de la propia leche.

Parece ser que algunos anticuerpos desaparecen súbitamente en respuesta a ciertos antígenos ambientales; las razones de este fenómeno no han sido aclaradas hasta la fecha.

Los anticuerpos se sintetizan en respuesta a la inmunización inducida artificialmente mediante las vacunas preparadas por el hombre. El grado de protección que se obtiene disminuye poco a poco a lo largo del tiempo, pero se restablece rápidamente, incluso aunque hayan pasado años, en caso de contacto con un antígeno específico. Este fenómeno es conocido como "respuesta amplificada" (o *secundaria*) y explica por qué en los casos de vacunación contra enfermedades como el sarampión, la gripe y la poliomielitis se recomienda vacuna de recuerdo en pequeñas dosis.

Véase: **Alergia; Inmunidad**



Todos los linfocitos que circulan a través de los tejidos del organismo humano proceden de células precursoras que, a su vez, tienen su origen en el tejido de la médula ósea. Sin embargo, mientras que los linfocitos T pasan a través del timo antes de difundirse en los tejidos, los linfocitos B están ya completamente desarrollados cuando salen de la médula ósea para difundirse en los tejidos. Por otra parte, las células T se convierten en los elementos centrales de la respuesta inmunitaria mediada por células, esto es, la denominada *inmunidad celular*. Los linfocitos B, por el contrario, se desarrollan y actúan como productores de anticuerpos y, por lo tanto, constituyen el elemento principal en la respuesta inmune mediada por anticuerpos, es decir, la llamada *inmunidad humoral*. Esta diferencia no supone, sin embargo, un obstáculo a la función del mecanismo inmunitario: en realidad, ambos tipos de linfocitos son necesarios para la respuesta inmunitaria a la agresión de un antígeno externo. En la figura de esta página se representa, de forma muy esquemática, el tipo de respuesta que se lleva a cabo por parte del linfocito B cuando un antígeno penetra en el organismo.

Cada linfocito posee la capacidad de reconocer un determinado antígeno. Desde el momento en que se verifica el reconocimiento, el linfocito experimenta un proceso de multiplicación y de sucesiva diferenciación funcional: algunos linfocitos memorizan las características del antígeno, mientras que otros se transforman en células plasmáticas. Son estas últimas las que tienen la responsabilidad de la producción de los anticuerpos, moléculas destinadas a bloquear los antígenos primitivamente reconocidos por los linfocitos B. La reacción entre antígeno y anticuerpo se verifica de un modo altamente especializado.

Antimateria

Una tarde del año 1928, el físico inglés Paul A. M. Dirac, futuro premio Nobel, estaba sentado en su despacho de Cambridge trabajando sobre unas ecuaciones que explicaban el comportamiento del electrón, la partícula subatómica que representa la menor unidad de carga eléctrica negativa. Según los cálculos de Dirac, no había razones que desmintiesen la existencia de una partícula análoga, de las mismas dimensiones, pero con carga eléctrica positiva. Sus cálculos revelaban que si esta hipotética partícula positiva, o *positrón*, tropezara con un electrón, ambos se "aniquilarían" mutuamente, transformando la suma de sus masas en energía bajo la forma de una emisión de rayos gamma o rayos X altamente penetrantes.

Dirac se dio cuenta de que era atrevido admitir la existencia de esta nueva partícula basándose únicamente en que se adaptaba a sus cálculos; sin embargo, las especulaciones sobre la existencia de un "antielectrón" debían mostrarse pronto fundadas. En realidad, se demostraría que casi toda partícula posee su *antipartícula*, de esta forma en el laboratorio se habría podido crear la *antimateria* a partir de las antipartículas. Además, la existencia de antimateria habría explicado numerosos fenómenos hasta entonces misteriosos, como el origen de las gigantescas explosiones estelares, de las señales de radio y de los rayos cósmicos procedentes del espacio lejano.

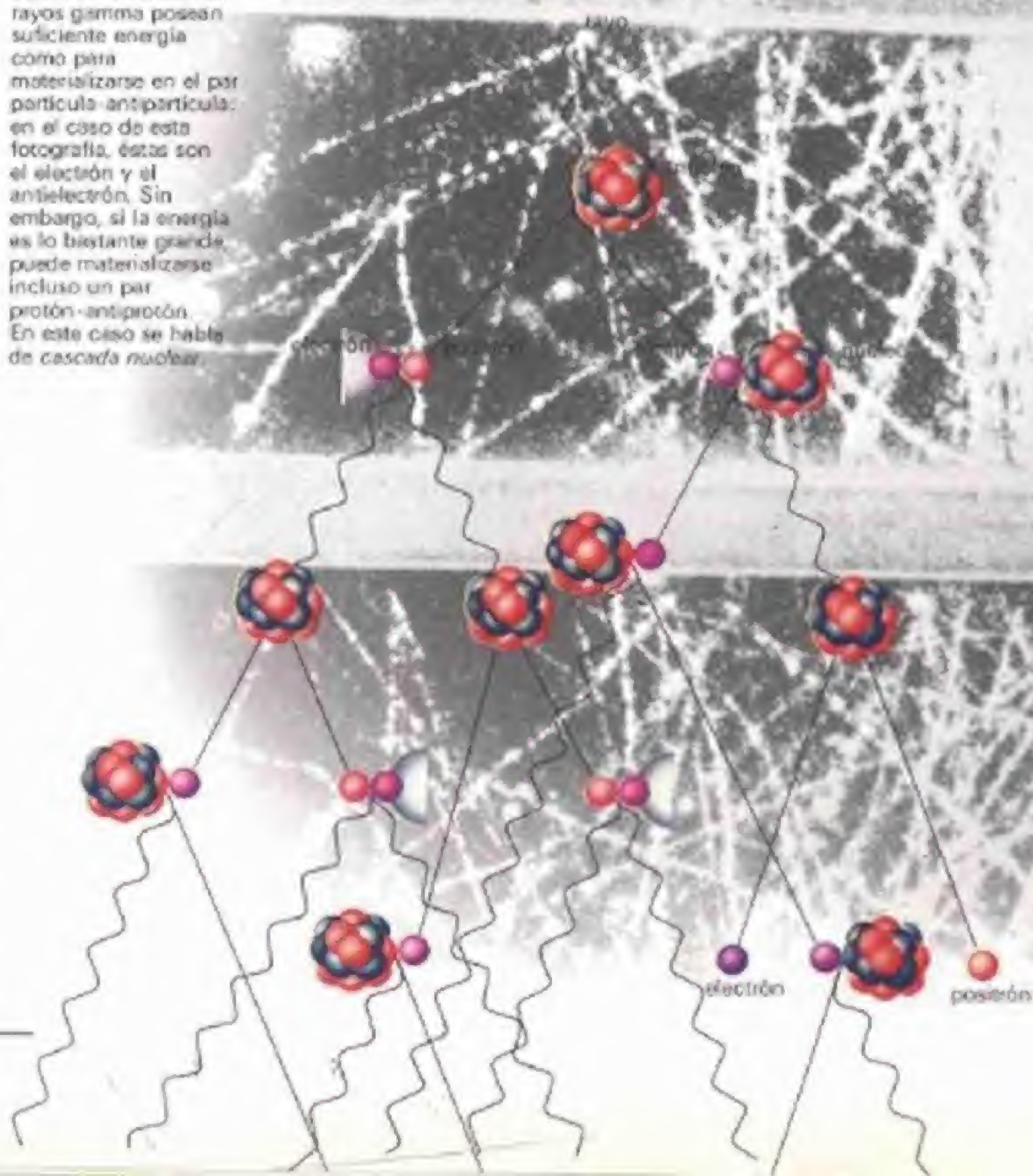
Partículas y antipartículas El átomo es la menor unidad fundamental de la materia. No existe ninguna cantidad de hierro, por poner un ejemplo, menor que un átomo de hierro. Sin embargo, un átomo, a pesar de su tamaño infinitesimal, no es un bloque compacto de materia: también él está constituido por partes más pequeñas llamadas *partículas subatómicas*. La mayoría de nosotros conocemos el átomo representado como un pequeño sistema solar, constituido por partículas relativamente ligeras con carga eléctrica negativa, los *electrones*, que orbitan alrededor de un núcleo compuesto por partículas mucho más pesadas, con carga eléctrica positiva, los *protones*, y sin carga eléctrica, los *neutrones*.

Cada partícula tiene determinadas propiedades, entre las cuales están la carga eléctrica, la masa (cantidad de sustancia presente) y el *spin*. Una antipartícula posee la misma masa y muchas de las propiedades de la partícula correspondiente, pero tiene una carga eléctrica de signo opuesto. Las partículas sin carga eléctrica, como el neutrón, tienen antipartículas correspondientes, cuyas propiedades opuestas están resumidas en un número que los físicos llaman número bariónico.

Un *fotón*, sin embargo, siempre es el mismo, tanto si se origina de la materia como si lo hace de la antimateria; por lo tanto, puede considerarse indistintamente como una partícula o una antipartícula.

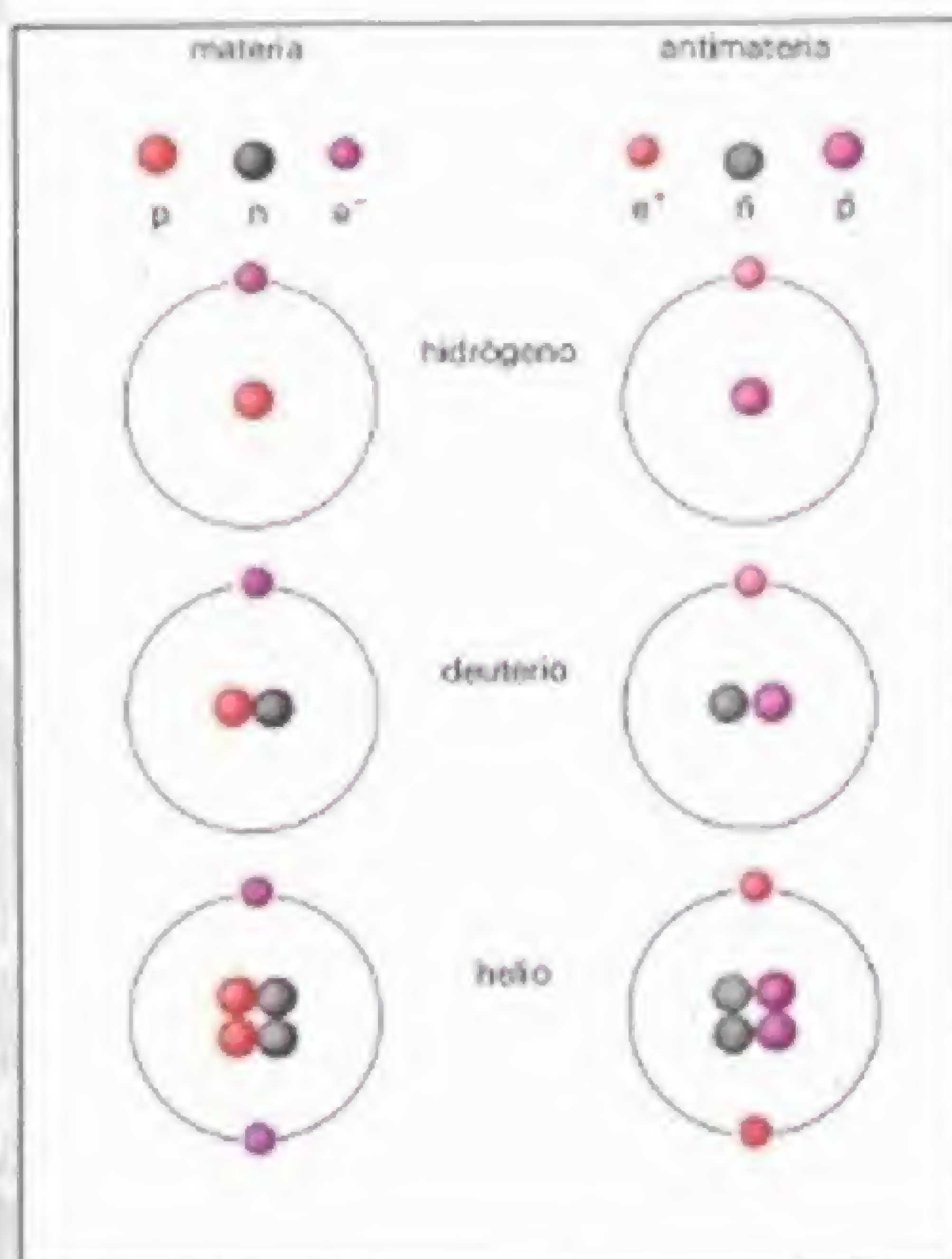
Cuando una partícula y una antipartícula se ponen en contacto, se anulan recíprocamente y su masa se transforma en

A la derecha, fotografía tomada con una cámara de niebla (*cámara de Wilson*) de una cascada electromagnética electrónica. La cascada ha sido iniciada por un rayo cósmico de alta energía. Procedente de la parte superior, probablemente en forma de protón energético, ha producido la formación de un rayo gamma de alto poder de penetración. Este, al pasar cerca de un núcleo atómico, por ejemplo un núcleo de plomo de la parte superior de la cámara, se ha materializado en una pareja de electrones, uno positivo y uno negativo. El positivo, o positrón, encuentra pronto a su complementario y se anula con él. De esta anulación resulta la producción de dos rayos gamma, que llevan toda la energía de la masa de las dos partículas más la energía cinética debida al movimiento de las mismas. De esta forma, la energía disponible está dividida en partes iguales entre los dos rayos gamma. Cuando, éstos se aproximan a lo largo de su recorrido a un núcleo, vuelven a materializarse en una pareja de partículas y antipartículas. De esta forma, el proceso continúa mientras los rayos gamma posean suficiente energía como para materializarse en el par partícula-antipartícula: en el caso de esta fotografía, éstas son el electrón y el antielectrón. Sin embargo, si la energía es lo bastante grande, puede materializarse incluso un par protón-antiprotón. En este caso se habla de *cascada nuclear*.

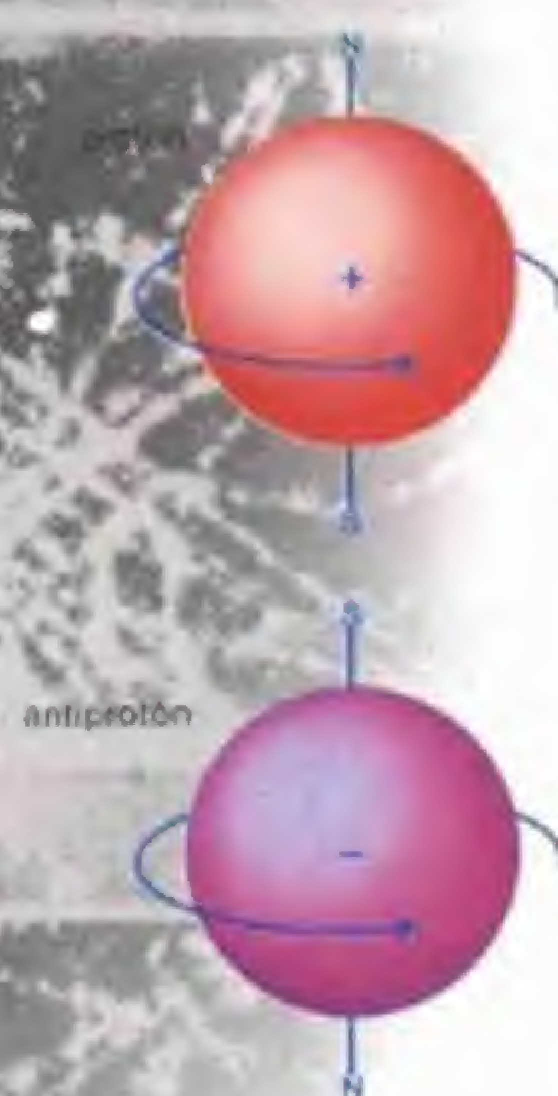




energía en forma de rayos gamma (la cantidad de energía liberada depende estrechamente del tipo de partícula). En nuestro mundo de materia, una partícula de antimateria, es decir, una antipartícula, chocará con su partícula correspondiente en un tiempo brevísimo, menos de una millonésima de segundo, dando lugar a un rayo luminoso y emitiendo energía. En tanto que en una bomba atómica tan sólo una pequeña fracción de la masa se convierte en energía, en una colisión entre materia y antimateria la conversión de masa en energía es total, por lo tanto la explosión es mucho más potente (unas 1.000 veces mayor).



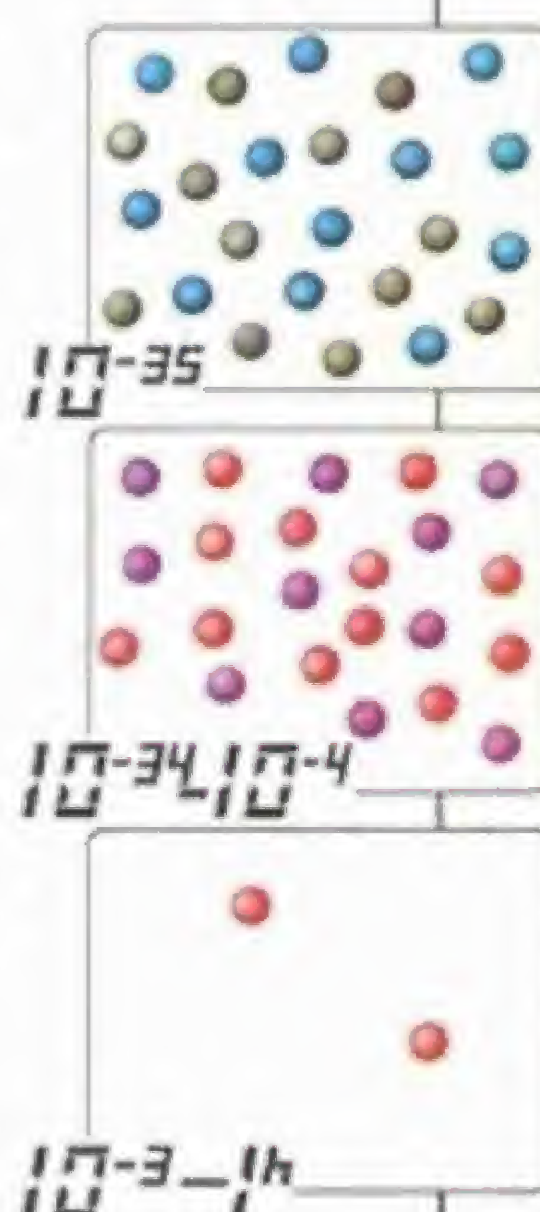
Los positrones, los antiprotones y los antineutrones, de la misma forma que sus antipartículas, abandonados a sí mismos, no se modifican; podrían incluso combinarse para formar antiátomos, los antiátomos se agruparían para formar antimateria y la antimateria podría organizarse para dar origen a nuevos antimundos estables como el nuestro.



Arriba, las dos esferas del protón y el antiprotón, idénticas pero de carga opuesta, giran en el mismo sentido, lo que da lugar a que los momentos magnéticos sean también opuestos. Arriba, la perfecta simetría entre materia y antimateria: si en lugar de electrones hubiera antielectrones; de protones, antiprotones; y de neutrones, antineutrones, en lugar de átomos habría antiátomos, pero todas sus propiedades físicas y químicas serían idénticas, con lo que se tendría un antiuniverso idéntico al nuestro.

Materia y antimateria están emparejadas En determinadas condiciones, la materia puede transformarse en energía y viceversa. Esto ocurre en la bomba atómica y también en algunos procesos naturales; además, puede lograrse en el laboratorio. Existen leyes que gobiernan este proceso, siendo una de ellas la famosa ecuación de Einstein, $E = mc^2$, que establece que la cantidad de energía que se crea (E) es igual a la cantidad de masa que interviene en la reacción (m) multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz (c). Los científicos consideran que otra de estas leyes es la de la *producción de pares*. Cuando se forma una partícula, por ejemplo un electrón, se origina siempre también la antipartícula correspondiente, en este caso el *positrón*. Esto puede darse en la Naturaleza, por ejemplo, cuando los rayos cósmicos, que son partículas procedentes del espacio con un elevado contenido energético, alcanzan la Tierra y colisionan con los átomos. En estas frecuentes colisiones, los átomos se disgregan y la energía liberada en el choque da lugar a la formación de un electrón y de un positrón. El descubrimiento de este fenómeno se realizó en 1932 y se debe a Carl Anderson.

La creación de partículas puede lograrse también en el laboratorio. Se han construido grandes máquinas, llamadas *aceleradores de partículas*, para "disparar" partículas subatómicas contra los átomos y romperlos. Los pares protón-antiprotón se obtuvieron de esta forma por primera vez en Berkeley en 1955.



El estudio de la cascada electromagnética y de la nuclear ha permitido reconstruir los primeros instantes de vida de la materia en el Universo. Según la teoría llamada *modelo standard*, en el origen, la energía se materializó en un número igual de partículas que de antipartículas. ¿Cómo es posible que después se haya producido un desequilibrio en favor de la materia ordinaria? Sucedió que las reacciones ocurridas dentro de la primera diezmilésima de segundo no conservaron la simetría, y la materia ordinaria prevaleció. Actualmente (abajo) es lo único que queda.

Antimateria y creación Los astrónomos no están aún en condiciones de decir dónde se encuentra la antimateria.

Puesto que los fotones siempre son los mismos, tanto si tienen su origen en la materia como si lo tienen en la antimateria, una antigalaxia o una antiestrella aparecerán en los telescopios o serán captadas por nuestros radiotelescopios de la misma forma que una estrella o una galaxia. La energía emitida por algunos quasar (*quasi stellar radio sources*, o fuentes de radio casi estelares) parece ser demasiado grande como para ser originada por las mismas reacciones que permiten arder al Sol, y los astrónomos piensan que puede estar originada por colisiones entre materia y antimateria, aunque no se ha podido demostrar de modo irrefutable.

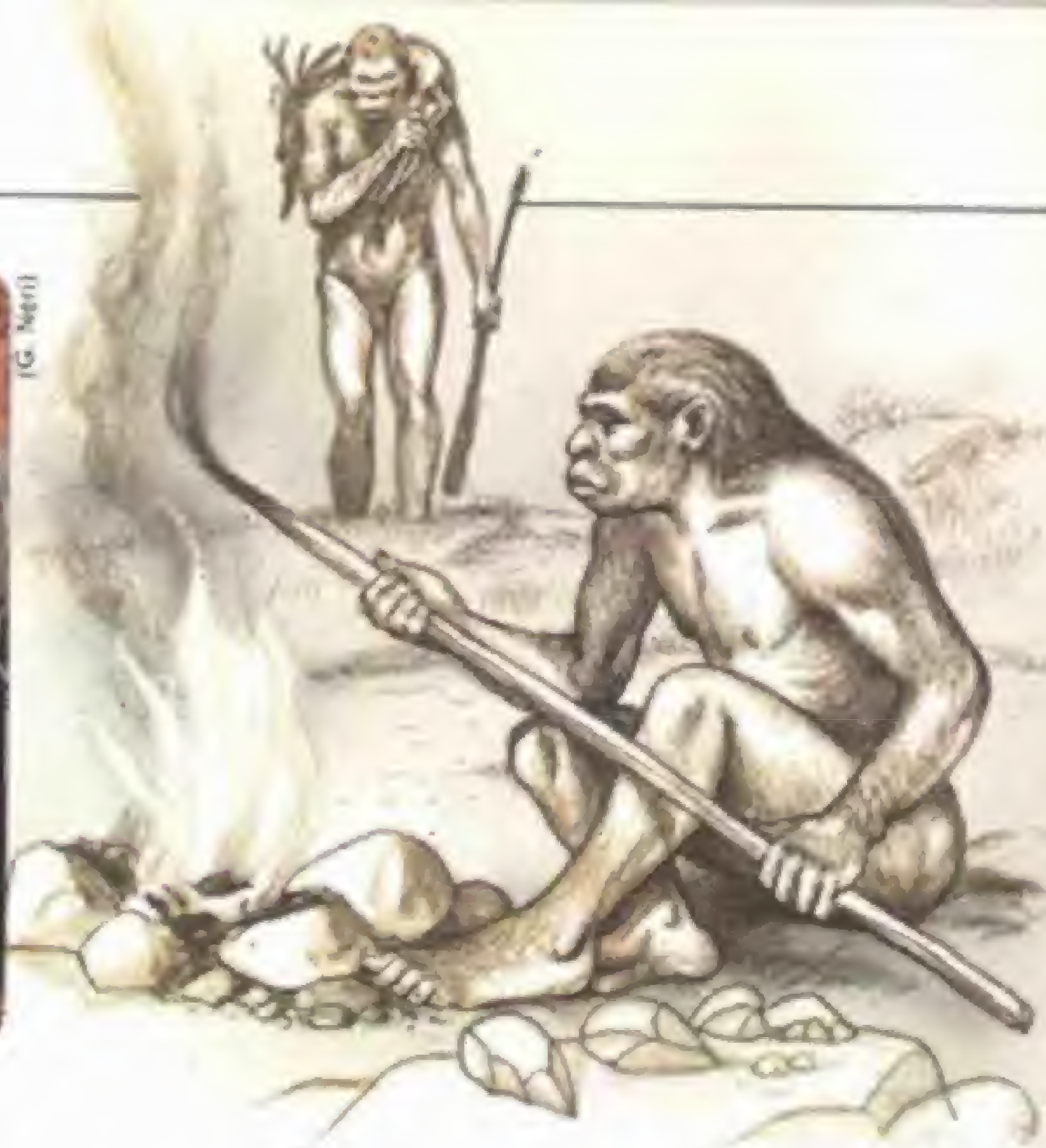
Véase **Acelerador de partículas; Acelerador lineal; Atomo; Electrón; Núcleo atómico; Protón; Quasar**

Antropología cultural

Desde mediados del siglo XIX, y también antes, algunas personas particularmente curiosas han realizado viajes alrededor del mundo, como simples viajeros o como estudiosos, tratando de comprender las pautas de comportamiento de las sociedades no pertenecientes a la cultura occidental. La Antropología, ciencia dedicada al estudio de las diversas culturas, posee un notable interés por sí misma y como fuente de enseñanzas sobre la Humanidad.

Constituida inicialmente como conjunto de observaciones y análisis de algunos aficionados, la Antropología se convirtió rápidamente en una verdadera disciplina científica, con una metodología propia. Examinando las diversas culturas del hombre, de la Micronesia al corazón de Africa, de los nómadas del Medio Oriente a los Inuit del


(G. Neri)



INTERESES PRINCIPALES EN EL PASADO	*Antropología física* Evolución de la especie humana y relación con otras especies animales	*Arqueología prehistórica* Interpretación de restos materiales de civilizaciones del pasado	*Antropología lingüística* Historia de la evolución del lenguaje	*Antropología social o cultural* Explicación histórica de la forma y distribución de las costumbres del hombre

gélido Canadá septentrional, los antropólogos tratan de descubrir cuál es el significado profundo de la naturaleza humana y cuáles son los elementos fundamentales que caracterizan las diversas culturas.

El trabajo de los antropólogos comienza con la cuidadosa recolección de datos sobre las características de la vida cotidiana: se acercan a un lugar (ya sea una aldea del Tíbet o el altiplano sudamericano) y registran metódicamente diferentes versiones de lo que allí sucede. Algunos antropólogos pasan años en localidades remotas, aprendiendo la lengua local, anotando cómo se viste la gente, los alimentos que ingiere, el tipo de casas que habita, los modos de elección de los jefes, el modelo educativo, etcétera.





El *Homo erectus*, representado en el dibujo de arriba, descubrió el uso del fuego y fue capaz de construir diversos instrumentos con la piedra: en las fotos sobre estas líneas, a la izquierda, una punta de flecha, a la derecha, una piedra de molino. En la fotografía superior, un excepcional descubrimiento realizado por un antropólogo: el de un cráneo que se remonta a 200.000 años de antigüedad, hallado en la Ciudad de México. El hombre moderno se caracteriza por una amplia tipología somática (página siguiente, abajo), con culturas muy distintas, algunas de las cuales nos remontan al hombre de Cro-Magnon.



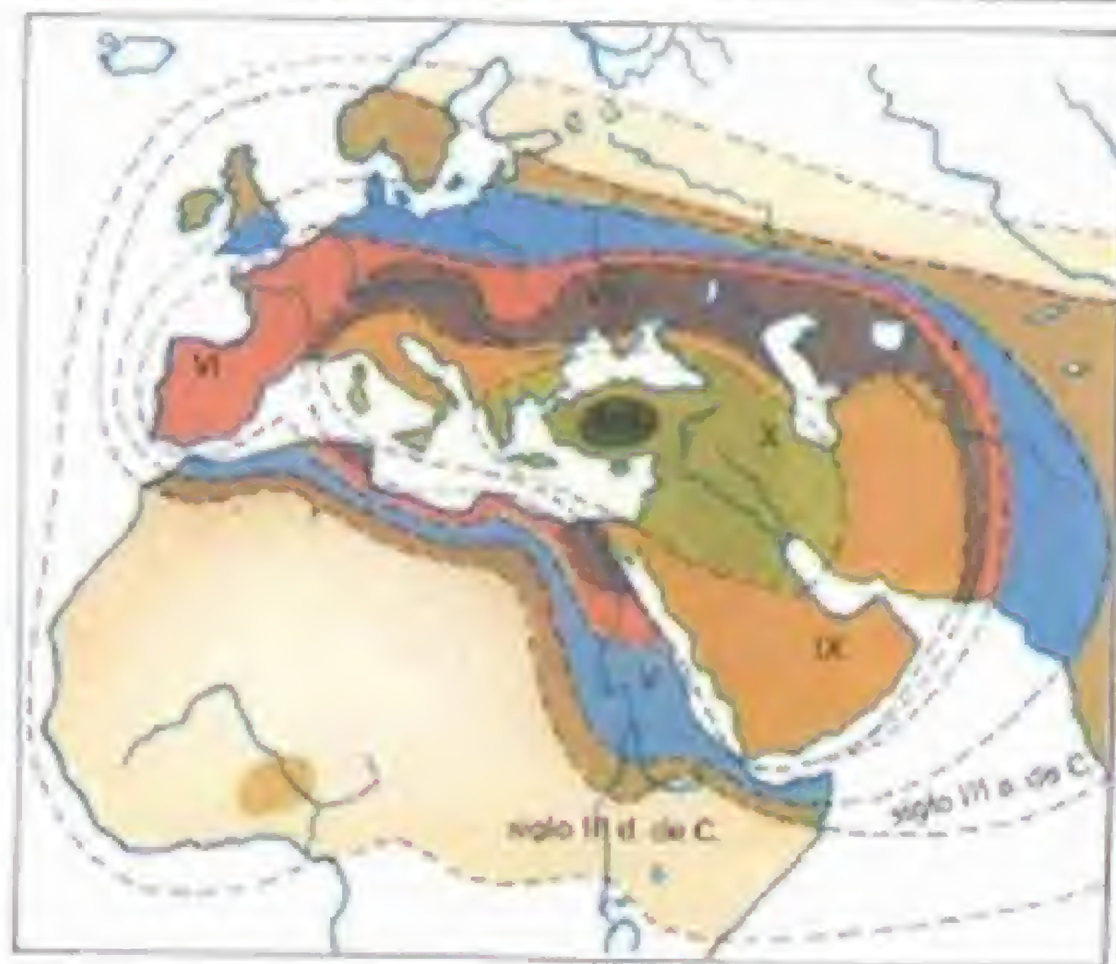
En la imagen, una escena de caza prehistórica pintada en una cueva de Sudáfrica.

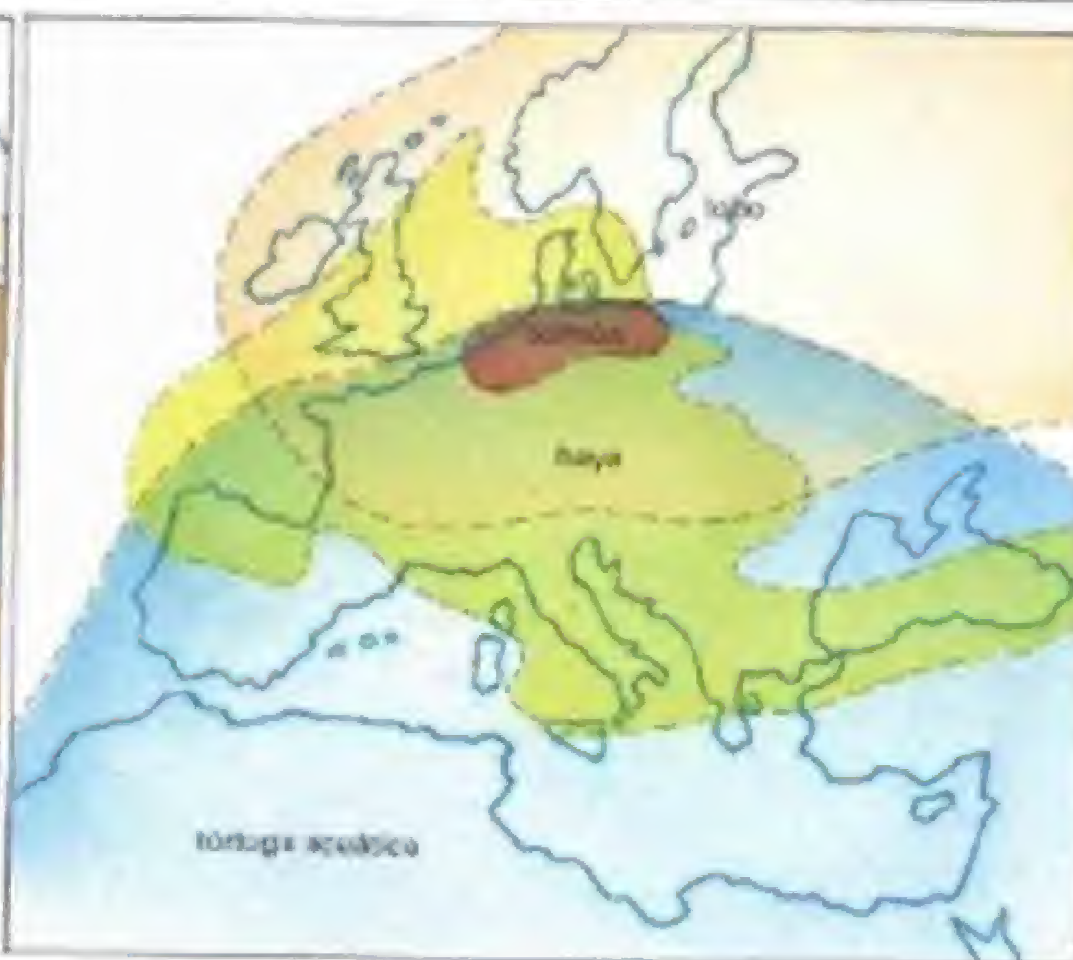
Hoy se considera necesario que el antropólogo se aproxime a la cultura objeto de estudio desde la posición intelectual propia del *relativismo cultural*. En el pasado, ha sido norma general usar los parámetros occidentales para juzgar a los demás pueblos, lo que se considera actualmente un grave error. Por esta razón los antropólogos se esfuerzan hoy en adoptar actitudes de absoluta neutralidad, juzgando las diversas culturas sólo en relación a sí mismas.

Algunas veces es difícil asumir un comportamiento neutral. Hay un ejemplo extremo: el juicio sobre la costumbre existente en algunos pueblos de matar a las hijas en los casos en que la familia considere que no tendrá la posibilidad de otorgarles una dote cuando alcancen la edad para casarse. Ese comportamiento es considerado como un terrible crimen en nuestra cultura. Por ello, si los antropólogos occidentales desean comprender las razones que explican por qué ciertas poblaciones suprimen a sus propios hijos, no deben, ciertamente, partir de una posición de escándalo moral, sino adoptar una actitud de relativismo cultural. Esto puede aplicarse a la poliandria, a la poligamia, a la antropofagia, etc., y a otras muchas diferencias algo menos llamativas.

A pesar de estas dificultades, el relativismo cultural es verdaderamente la única actitud que puede permitir a los antropólogos llegar a comprender cómo funcionan otras culturas. Si bien hoy existen muchas teorías sobre cómo lograr entender las diversas culturas, el punto de partida de la Antropología moderna fue la adquisición del concepto que hoy se define como *funcionalismo estructural*. En palabras sencillas, aceptar el funcionalismo estructural significa considerar que, en cualquier región, el comportamiento de un pueblo se basa en motivos válidos. Desarrollado en sus comienzos por antropólogos como Emile Durkheim (1858-1917) y Bronislaw Malinowski (1884-1942), el funcionalismo asume que las diversas partes del sistema social colaboran teniendo entre sí cierto grado de interrelación. Durkheim sostenía que era importante comprender cómo las instituciones —gobierno, iglesia, castas y demás— de una sociedad contribuían a satisfacer las necesidades de aquélla. En el desarrollo de esta teoría, él y otros investigadores utilizaron la *analogía orgánica*, presumiendo que los distintos segmentos de los sistemas sociales colaboran teniendo entre sí un cierto grado de interrelación, de modo similar a los miembros y órganos del cuerpo humano, que se rigen recíprocamente y coordinan sus acciones. Comprender el infanticidio en base a este modelo significa, por ejemplo, darse cuenta de la importancia que tiene este hecho para el mantenimiento de las estructuras sociales existentes.

Posteriormente, otros investigadores advirtieron ese hecho. El sociólogo Talcott





En el mapa de la izquierda se muestra la difusión de la elaboración del hierro en Oriente Medio (los números romanos se refieren a los siglos). A su derecha, mapa que representa la zona de origen de la rama Indoeuropea, ubicada en el norte de Europa, cerca del Mar Báltico; originarias de esta área son cuatro especies biológicas: lobo, salmón, tortuga acuática y haya, cuyos nombres son semejantes en todas las lenguas de las poblaciones originarias de esta zona.

Parsons (1902-1979), entre ellos, elaboró los primeros trabajos funcionales y estructurales. Parsons veía las sociedades como si estuviesen constituidas por diversas categorías relativamente estables —clases sociales, ocupacionales, *roles* familiares, etc.—, ligadas una a otra de diversas formas. La "función" de cada una consistía en contribuir a mantener la estructura de estas categorías. Esta idea ha sido con posterioridad perfeccionada y ampliada.

Hoy, además de significar la modalidad según la cual las instituciones interactúan con las otras partes de la sociedad, el término "función" indica asimismo el modo como las partes de la sociedad ayudan al conjunto a adaptarse al ambiente, las consecuencias que de esto se derivan para el individuo y lo que supone para él.

El resultado de estos primeros trabajos diversificados ha sido la subdivisión de la moderna Antropología cultural en un mosaico de disciplinas diversas, tales como la Antropología médica, legislativa, lingüística o ambiental. Estas disciplinas estudian no sólo las variaciones de las condiciones médicas, legislativas, lingüísticas o ambientales en una determinada cultura, sino que van más allá, efectuando confrontaciones entre distintos grupos. Para hacer esto, los antropólogos han debido superar el funcionalismo estructural, que a veces daba excesivo énfasis a la continuidad y a la coordinación social, subvalorando las modificaciones y los conflictos; además, este método se basaba demasiado en lo que la gente *decía* hacer, lo que no siempre correspondía exactamente a lo que hacía en realidad. La Antropología moderna es una amalgama de ideas, explicaciones y métodos diversos, pero ha sido precisamente así como los antropólogos han logrado acercarse mucho más a la realización de esa antigua máxima: *Conócete a ti mismo.*

Véase **Antropología física**

INTERESES PRINCIPALES EN EL PRESENTE

Antropología física
... en el hombre
... variaciones

Antropología lingüística
Variedades de las lenguas contemporáneas; factores sociales en el uso del lenguaje; relaciones entre el lenguaje y la comunicación no verbal

Antropología social o cultural
Explicaciones funcionales y psicológicas de la interdependencia del conjunto de sus costumbres. Estudio comparado de los sistemas económicos y jurídicos. Estudio comparado de los mitos y ritos





La Antropología cultural se ocupa del hombre en relación a la cultura, a la Naturaleza, a la sociedad, a las tradiciones históricas a las que está sometido; los vestidos, el arte y los ritos son objeto de atento estudio. Arriba, un bailarín de Zambia con traje típico.

Antropología física

Se puede establecer el origen de la Antropología física en el interés que en los siglos XVII y XVIII despertó el estudio de las razas humanas, basado en investigaciones zoológicas y taxonómicas. Unas raíces que poco o nada tienen que ver con los inicios de la Antropología y su preocupación cultural. Sin embargo, ya en el siglo XIX el creciente interés por la evolución del género humano y por las relaciones de los diversos grupos llevó a los antropólogos a no limitarse a testimonios relativos a los fenómenos culturales y a adentrarse en los estudios de tipo racial y anatómico. La estrecha relación existente entre la Anatomía y la Antropología física explica que muchos de los primeros antropólogos físicos tuvieran una formación anatómica o médica. Es el caso de nombres como Broca, Retzius y Virchow. En esta época gran parte de la Antropología física se basaba en observaciones métricas (medida de la estatura y de las dimensiones craneanas y corporales) cada vez más normalizadas y en la clasificación o tipificación de las poblaciones. Las investigaciones realizadas por Broca (fundador de la Sociedad de Antropología en 1859) acerca de los procedimientos más seguros para valorar y apreciar los caracteres físicos de los seres humanos —*antropometría*— permitieron realizar rápidos progresos. El propio Darwin, con la publicación de su obra sobre el origen de las especies en ese mismo año, contribuyó al desarrollo de la moderna Antropología física. Inmediatamente se puso de manifiesto el interés por los fósiles humanos, y su trascendencia para descifrar la evolución del hombre.

No obstante, las razas, la anatomía comparada (referida, sobre todo, a la osteología) y la evolución humana continuaron siendo los principales temas de la Antropología física hasta bien entrado el siglo XX.

En la actualidad, las líneas de investigación de la Antropología física se encuadran en dos campos principales: el estudio del hombre como producto de un proceso evolutivo y el análisis de las poblaciones humanas. Los descubrimientos que se han producido en disciplinas como la Genética, la Biología molecular, la Ecología, etc., y el desarrollo de técnicas como la electroforesis han ejercido una profunda influencia en los recientes avances de esos dos campos de la Antropología física.

Por otro lado, el interés por la evolución del género humano constituye una tendencia que se ha visto estimulada por el descubrimiento de gran cantidad de fósiles que dan testimonio de la aparición y evolución del hombre.

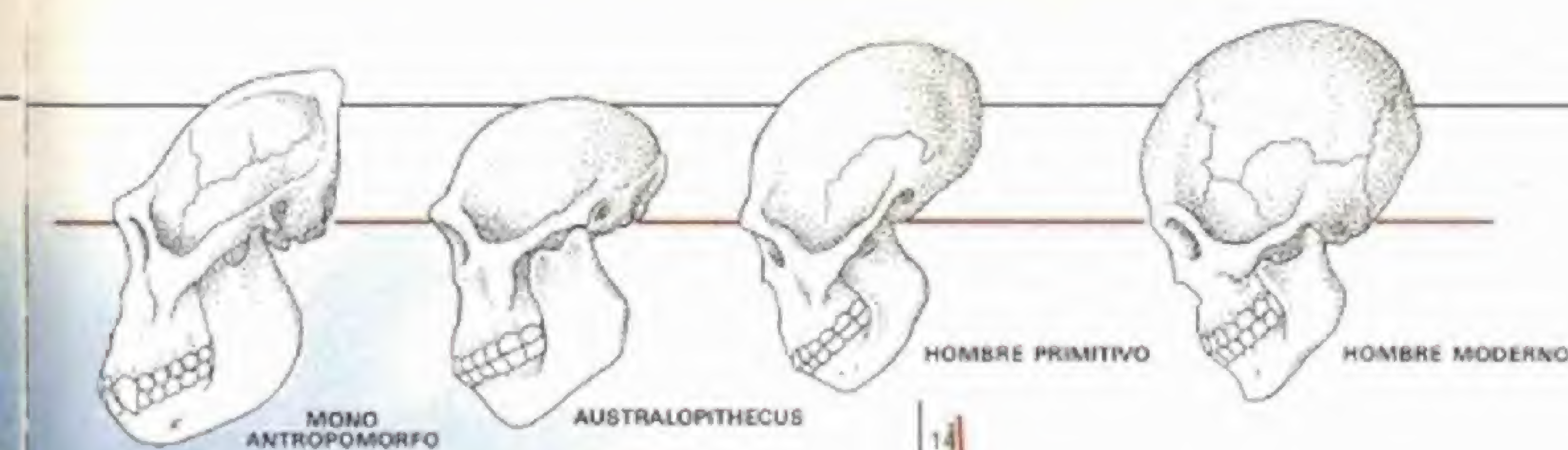
La familia del hombre Los antropólogos, como los biólogos, clasifican a los seres vivientes en *especies*, *géneros* (grupos de especies afines) y *familias* (grupos de géneros afines). La familia de los *Homínidos* comprende todos los géneros y las especies del hombre reciente y de sus antepasados, pero no incluye a los monos antropomorfos, que forman parte de la familia de los *Póngidos*.

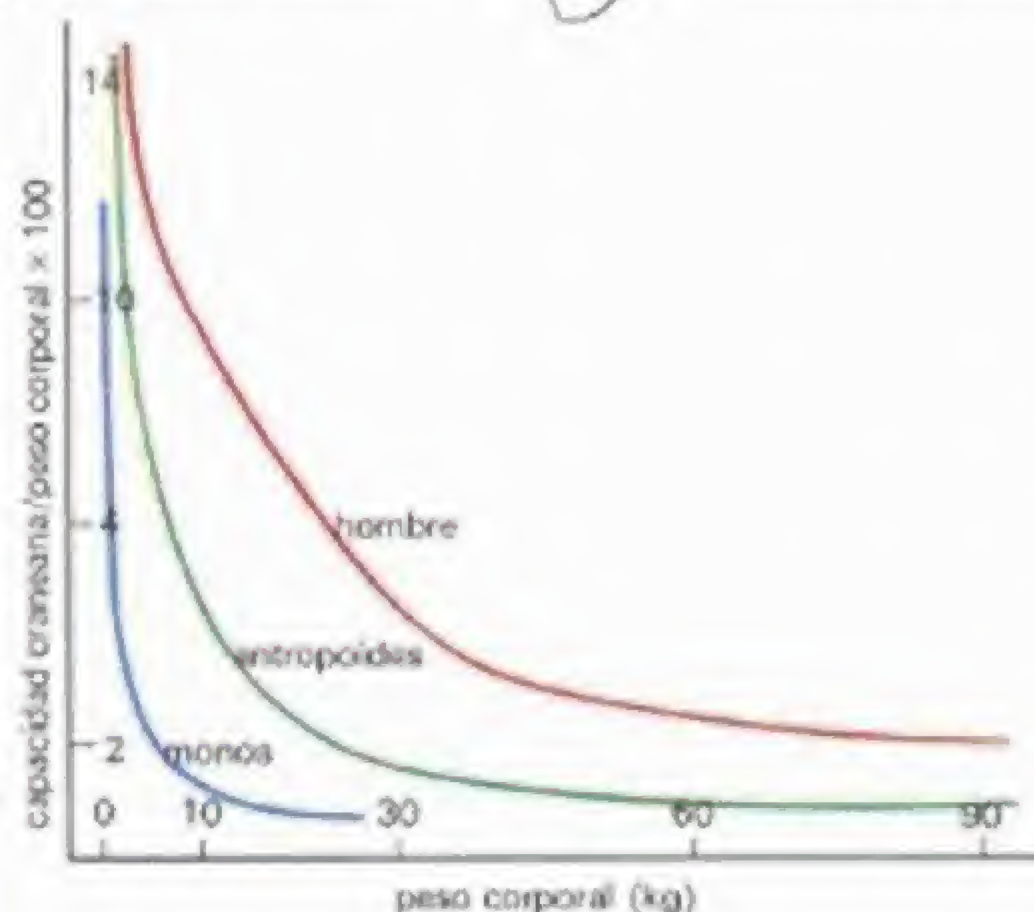
Los homínidos se dividen en tres géneros: *Ramapithecus*, *Australopithecus* y *Homo* (el hombre reciente).

El *Ramapithecus*, que es el más antiguo, fue identificado por primera vez en 1934, en un fósil descubierto veinte años antes en la India Septentrional. Como es de esperar por su antigüedad, el *Ramapithecus* se conoce sólo por algunos dientes fósiles y fragmentos de mandíbula. Por lo incompleto de la documentación fósil, existen aún notables argumentos contrarios a la oportunidad de clasificar al *Ramapithecus* en la familia de los Homínidos, pero la mayor parte de los antropólogos se inclinan por esa hipótesis.

Hay dos especies del género del *Ramapithecus*: el *R. wickeri*, originario del África Oriental, y el *R. punjabicus*, originario de la zona fronteriza entre India y Pakistán.

El *R. wickeri* está considerado, en general, como la especie más antigua de Homínido; la única prueba de su existencia está en algunos dientes y en una mandíbula encontrados en Kenya, en 1961, por el antropólogo L. S. B. Leakey (1903-1972). A pesar de una evidencia tan débil, el descubrimiento fue importante, puesto que Leakey pudo utilizar métodos antropométricos para estudiar a fondo el hallazgo. El descubrimiento principal fue que los dientes presentaban algunas características tanto del hombre como del mono antropomorfo. Los dientes caninos, pequeños en el hombre pero grandes en los monos, tenían dimensión humana y la forma típica de los de los monos. Y la mandíbula hacía suponer que el rostro del *R. wickeri*, aunque similar al de un mono, era más corto y ancho que el de cualquier mono conocido. No sabemos casi nada de la estructura física o las costumbres del *R. wickeri*. Se cree que el fósil se remonta unos diez millones de años, lo que quiere decir que los Homínidos podrían haberse separado por evolución de los Póngidos hace unos quince millones de años.





El cráneo es la parte del cuerpo que caracteriza más al tipo humano fósil y constituye un elemento de estudio fundamental para el antropólogo. Su característica más útil es el volumen de la bóveda craneana, que contiene el cerebro. En los últimos 3,5 millones de años cualquier cerebro de hombre u homínido ha tenido un volumen superior al de cualquier mono antropomorfo. Hoy, el volumen del cerebro del *Homo sapiens* supera los 1.500 centímetros cúbicos; desde el pasado lejano, el volumen ha crecido a partir de menos de 800 centímetros cúbicos. Para el antropólogo, el descubrimiento de un solo cráneo puede ser útil, pero no le permite construir una muestra estadística; de ahí que rastree la zona en busca de nuevos hallazgos.



Como el *R. wickeri*, el *Ramapithecus punjabicus* se conoce por el descubrimiento de algunos fragmentos fosilizados de mandíbula y por un par de dientes. Vivió en una época posterior a la del *R. wickeri*. Se cree que el *Australopithecus* descendía del *Ramapithecus*.

A diferencia de los seres que han existido antes de la aparición del hombre, de los que se piensa que vivieron en la selva, se cree que el *Australopithecus* vivió en las praderas, en un principio en las de África y posteriormente en las de Asia Suroriental. Y, a diferencia del *Ramapithecus*, se piensa que las dos especies del género *Australopithecus* debieron ser coetáneas: el *Australopithecus africanus* fue el antepasado del hombre; mientras que el *Australopithecus boisei* se extinguió hace aproximadamente millón y medio de años.

El *Australopithecus boisei*, la menos conocida de las dos especies, fue probablemente herbívora. A juzgar por los molares grandes y planos, comía hierba y no podía ni siquiera caminar erguido. Se ha sugerido que el *Australopithecus boisei* pudo haberse extinguido por la competencia con el más pequeño, carnívoro, rápido y quizá más inteligente *Australopithecus africanus*.

Se han descubierto muchos restos fósiles del *Australopithecus africanus*, que proporcionan abundante información sobre sus formas de vida.

El comienzo de la Era Glacial, hace unos dos millones de años, cambió el clima de la Tierra y obligó a los antiguos homínidos a adaptarse a los rigores del invierno. Tuvieron que guarecerse de la intemperie y aprendieron a usar el fuego; y lo más importante, tuvieron que colaborar ampliamente unos con otros para sobrevivir.

El impacto de dichos cambios parece haber favorecido la evolución, relativamente rápida, del *Australopithecus africanus* y del *Homo erectus*, progenitor inmediato del hombre actual (*Homo sapiens*).

Aunque no existen tantos restos conocidos del *Homo erectus* como del *Australopithecus africanus*, los antropólogos han averiguado que tales seres eran más altos y que desarrollaban un pensamiento más complejo que sus antepasados. Respecto al hombre reciente, el *H. erectus* era una criatura membruda, fuerte, organizada en grupos compactos, y que, sin duda, caminaba como nosotros. Casi todo lo que sabemos de él se debe a los restos encontrados en una inmensa cueva (Chu-ku-tien) cerca de Pekín, habitada durante setenta mil años por grupos de cazadores. En ella, los antropólogos han desenterrado utensilios primitivos, restos de comida, hogares y huesos.

El camino recién andado, desde el *Ramapithecus* al *Australopithecus* y al *Homo*, está, de todas formas, bien lejos de ofrecer unas garantías totales. Algunos bioquímicos sostienen que la sangre de los chimpancés, de los gorilas y de los seres humanos presenta tantas analogías, que los homínidos no habrían podido separarse de los monos hace quince millones de años.

L. S. B. Leakey y otros, sin embargo, han afirmado que especies como el *Procónsul* (ahora llamado *Dryopithecus*) *africanus*, un primate que vivió hace unos 20 millones de años, son antecesores tanto de los Póngidos como de los Homínidos.

Toda esta problemática es reflejo del constante reto de la Antropología física, que contando con tan pocos elementos debe responder a cuestiones como: ¿por qué ha cambiado físicamente el hombre? ¿por qué hay tantas poblaciones humanas distintas? ¿cómo se explican las grandes diferencias lingüísticas y culturales? ¿qué hay de común dentro de esa diversidad?

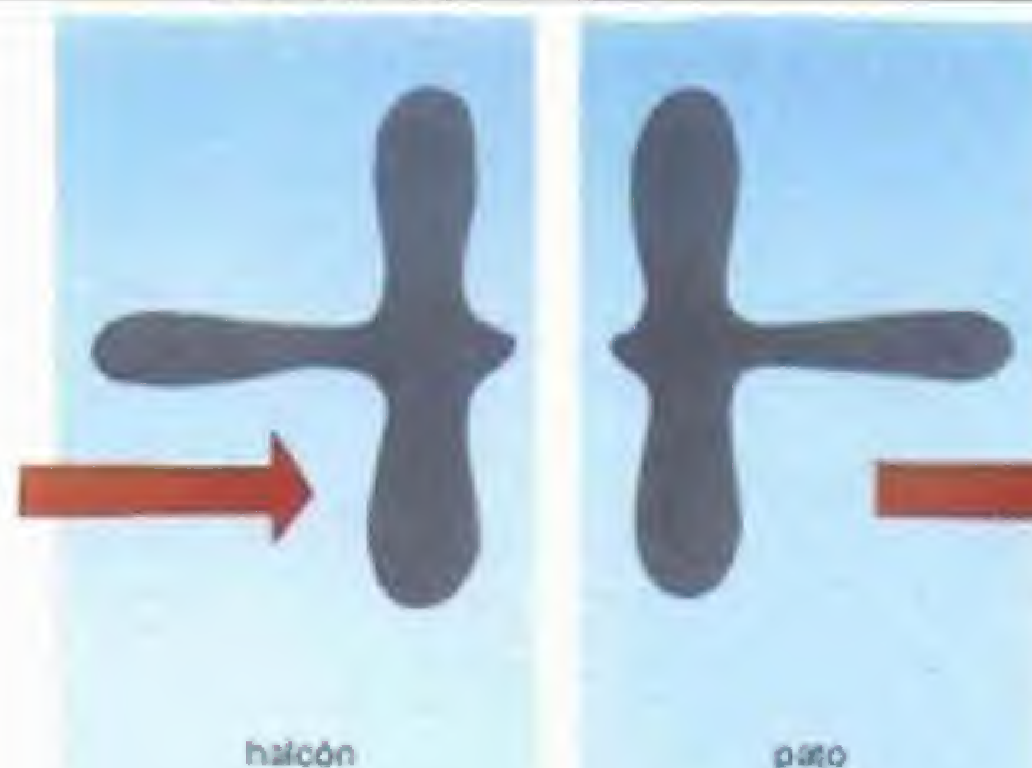
Véase **Antropología cultural; Arqueología; Genética; Hombre**

Aprendizaje animal

A principios de este siglo, el famoso fisiólogo ruso Ivan Pavlov estudió un curioso fenómeno relacionado con la secreción de los perros con los que experimentaba. Normalmente, los perros segregaban saliva de modo reflejo ante la presencia de comida en su boca. Pero si Pavlov hacía sonar una campanilla en el momento en que daba la comida a su perro, y esta asociación entre los dos estímulos se repetía varias veces, al cabo de un tiempo el animal respondía al tintineo salivando, aunque no se presentara la comida.

También a principios de siglo —concretamente, en 1905—, el por entonces joven físico Albert Einstein publicó en una revista científica berlinesa un par de artículos en los que sentaba las bases de la teoría de la relatividad.

Aunque quizás sorprenda a primera vista, tanto los complejos pensamientos que llevaron a Einstein a elaborar esta importante teoría como el simple reflejo salival de los perros de Pavlov ante la campanilla pertenecen a un mismo grupo de fenómenos dentro del comportamiento animal: los *fenómenos de aprendizaje*.





En las pautas de conducta de un animal, los elementos innatos y los adquiridos suelen entremezclarse. Por ejemplo, los polluelos de las aves poseen una tendencia innata a correr en busca de un escondite cuando un objeto extraño se mueve ante ellos, aunque muy pronto se habitúan a los que ven con mayor frecuencia. Sin embargo, en muchas especies la habituación es innatamente menor para aquellos objetos que recuerdan un ave rapaz en movimiento.

TIPOS DE APRENDIZAJE	
Por habituación	
Reflejos condicionados (condicionamiento clásico) Aprendizaje por ensayo y error (o "condicionamiento instrumental" o "condicionamiento operante")	aprendizaje por asociación
Aprendizaje latente	
Aprendizaje intuitivo	
Impronta	

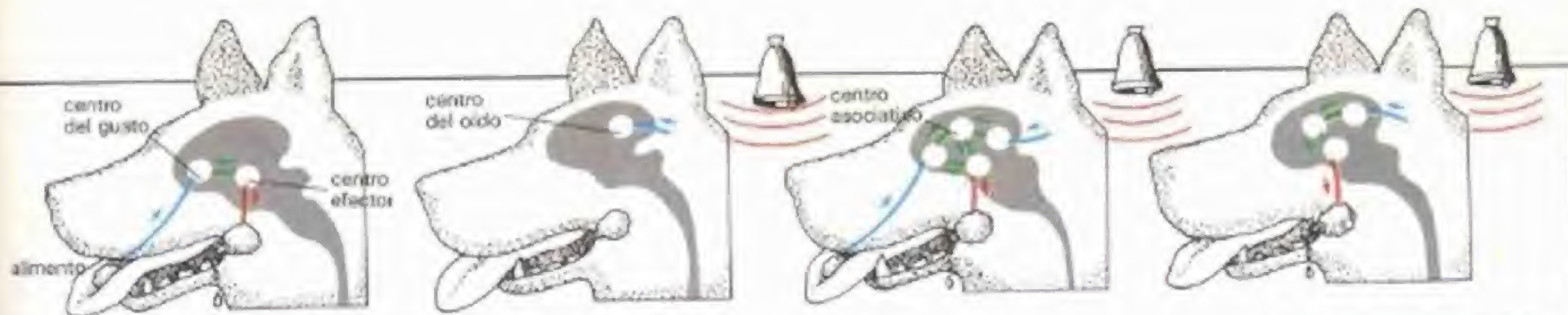








La generalización de las respuestas aprendidas a otros estímulos semejantes a los que inicialmente provocan la respuesta es un fenómeno muy común. Aquí se muestra un ejemplo en el comportamiento aprendido de los caribús. Por experiencia, los caribús saben distinguir entre un lobo en reposo y uno en actitud de caza, huyendo sólo cuando el carnívoro adopta esa postura amenazadora. Los cazadores humanos que llevan una capucha de pelo pueden acercarse menos a los caribús que aquellos que no la llevan, pues su figura es parecida a la de un lobo en actitud de caza.



Los mecanismos fisiológicos que subyacen en los procesos de aprendizaje se desconocen en gran medida. En las ilustraciones sobre estas líneas se muestra una hipótesis sobre el mecanismo del aprendizaje por reflejo condicionado en la famosa experiencia de los perros de Pavlov. El alimento estimula el centro del gusto y provoca una respuesta de salivación por medio del centro efector correspondiente. Cuando el tintineo de la campanilla y el alimento se presentan simultáneamente, ambos estímulos actuarían sobre un centro asociativo que influiría también en el centro efector, y el estímulo sonoro sería capaz por sí solo de provocar la salivación.

Decimos que un determinado comportamiento es *aprendido* cuando ha aparecido a consecuencia de una o varias exposiciones anteriores a dichos estímulos (o a otros parecidos).

Para estudiar mejor los fenómenos de aprendizaje, los etólogos los han clasificado en varias categorías, de las cuales describiremos a continuación algunas de las más importantes.

Probablemente el tipo de aprendizaje más sencillo sea la habituación, pues no supone la adquisición de nuevas respuestas sino la pérdida de las antiguas. La *habituación* puede definirse como la desaparición de la respuesta a un estímulo cuando se presenta repetidamente y no va acompañado de ningún efecto beneficioso o perjudicial. Por ejemplo, los polluelos de muchas aves tienen tendencia a agazaparse en el nido como respuesta a cualquier objeto que se mueva por encima de ellos, sea peligroso o inofensivo como las hojas que caen de los árboles. Después de algunas experiencias, va desapareciendo la respuesta a los objetos voladores más comunes, incluyendo las aves de su propia especie; pero nunca se acostumbran a las formas poco familiares de las aves de rapiña, pues estos animales sólo se presentan muy de vez en cuando. Un tipo de aprendizaje muy conocido, del que hemos descrito un célebre ejemplo en el primer párrafo de este artículo, es el *reflejo condicionado*, llamado también *condicionamiento respondente*. Este tipo de aprendizaje consiste en la adquisición de la capacidad de responder a un estímulo arbitrario (el estímulo condicionado) del mismo modo que se responde a otro (el estímulo incondicionado), cuando ambos se presentan al animal varias veces simultáneamente (o un poco antes el condicionado).



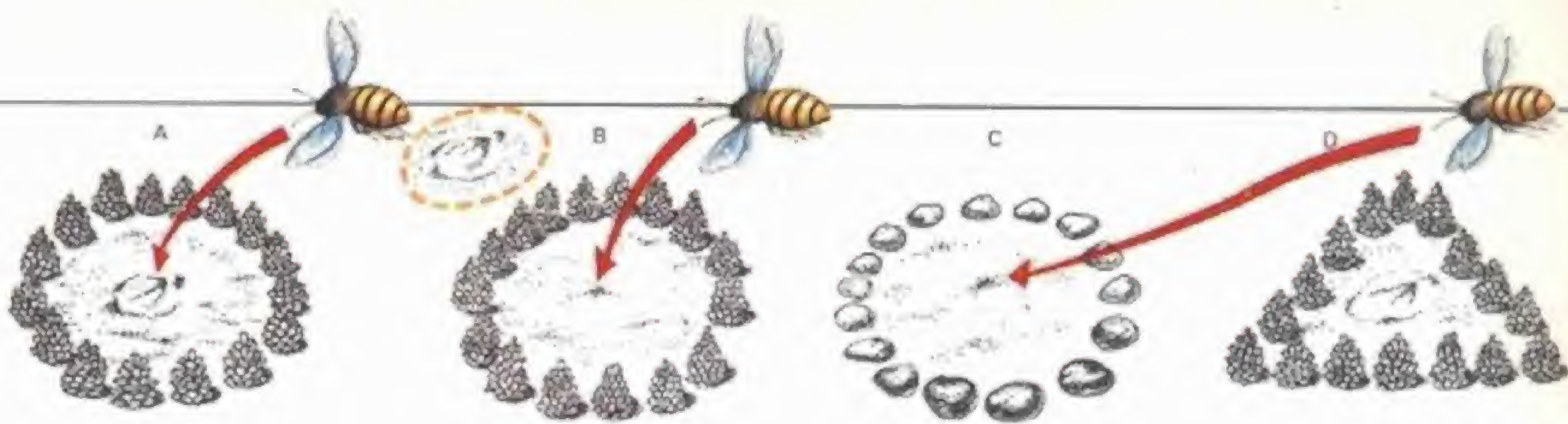
La caja de Skinner es un instrumento de gran utilidad para estudiar las capacidades de percepción y discriminación sensorial de los animales. En el experimento que aquí se ilustra, la paloma encerrada en una caja de este tipo obtenía su recompensa alimentaria cuando picoteaba un disco situado en la pared de la caja, pero sólo si lo hacía al aparecer en la misma pared una señal luminosa con unas determinadas características. El estímulo que se presenta cuando el animal efectúa una respuesta que luego será reforzada se denomina *estímulo discriminativo*. Aplicando determinadas técnicas experimentales, se puede conseguir que el animal efectúe la acción reforzada sólo frente a un estímulo discriminativo determinado, y no frente a otros estímulos parecidos.



En sus esfuerzos por descubrir las leyes que rigen los fenómenos del aprendizaje, y en particular los del condicionamiento operante, el psicólogo estadounidense Skinner ideó un aparato especial, llamado "caja de Skinner". La caja que aparece en la ilustración está adaptada para estudiar en ella el aprendizaje de las ratas. Cuando el roedor presiona la palanca que se encuentra en una de las paredes de la caja, cae un poco de alimento en un recipiente contiguo.

En el aprendizaje por condicionamiento respondente, el animal se comporta de un modo pasivo. Existe otro tipo de aprendizaje que tiene puntos de semejanza con el anterior, pero que exige actividad por parte del animal: es el condicionamiento operante, o aprendizaje por ensayo (tradicionalmente se conoce también con el nombre de *aprendizaje por ensayo y error*). Veamos un ejemplo del mismo.

Supongamos un animal hambriento que, como consecuencia lógica de esta motivación, muestra un comportamiento apetitivo: se mueve de un lado a otro explorando el medio que le rodea, husmea a su alrede-



Muchos animales considerados "inferiores", como los insectos, poseen capacidades de aprendizaje que parecen exclusivas de seres más inteligentes. Así, por ejemplo, las avispas del género *Philanthus* son capaces de localizar su nido memorizando configuraciones geométricas de su alrededor. Si se rodea el nido con un círculo de piñas (A), y luego se traslada ese círculo de lugar cuando la avispa se encuentra ausente, ésta al volver tratará de localizar el nido inútilmente en su interior (B). Si las piñas se disponen formando un triángulo (D), y al lado se confecciona un círculo de guijarros (C), la avispa se dirigirá hacia él, haciendo caso omiso del triángulo formado con las piñas.

dor, escudriña todos los rincones, etc. Algunas de estas pautas de conducta pueden ir seguidas de un premio o refuerzo: por ejemplo, puede ser que el animal levante una piedra y encuentre debajo algún bichito apetitoso. Si el refuerzo se repite un cierto número de veces (es decir, si al levantar otras piedras encuentra más animalillos), el animal aprende a realizar esta pauta de conducta cuando se encuentra en una situación parecida.

Por tanto, y a diferencia de lo que ocurre en el condicionamiento respondente, en este tipo de aprendizaje la respuesta precede en el tiempo al estímulo reforzante. La razón de llamar *operante* a este tipo de condicionamiento reside en el hecho de que la respuesta del animal opera de algún modo sobre el medio ambiente para conseguir el refuerzo.

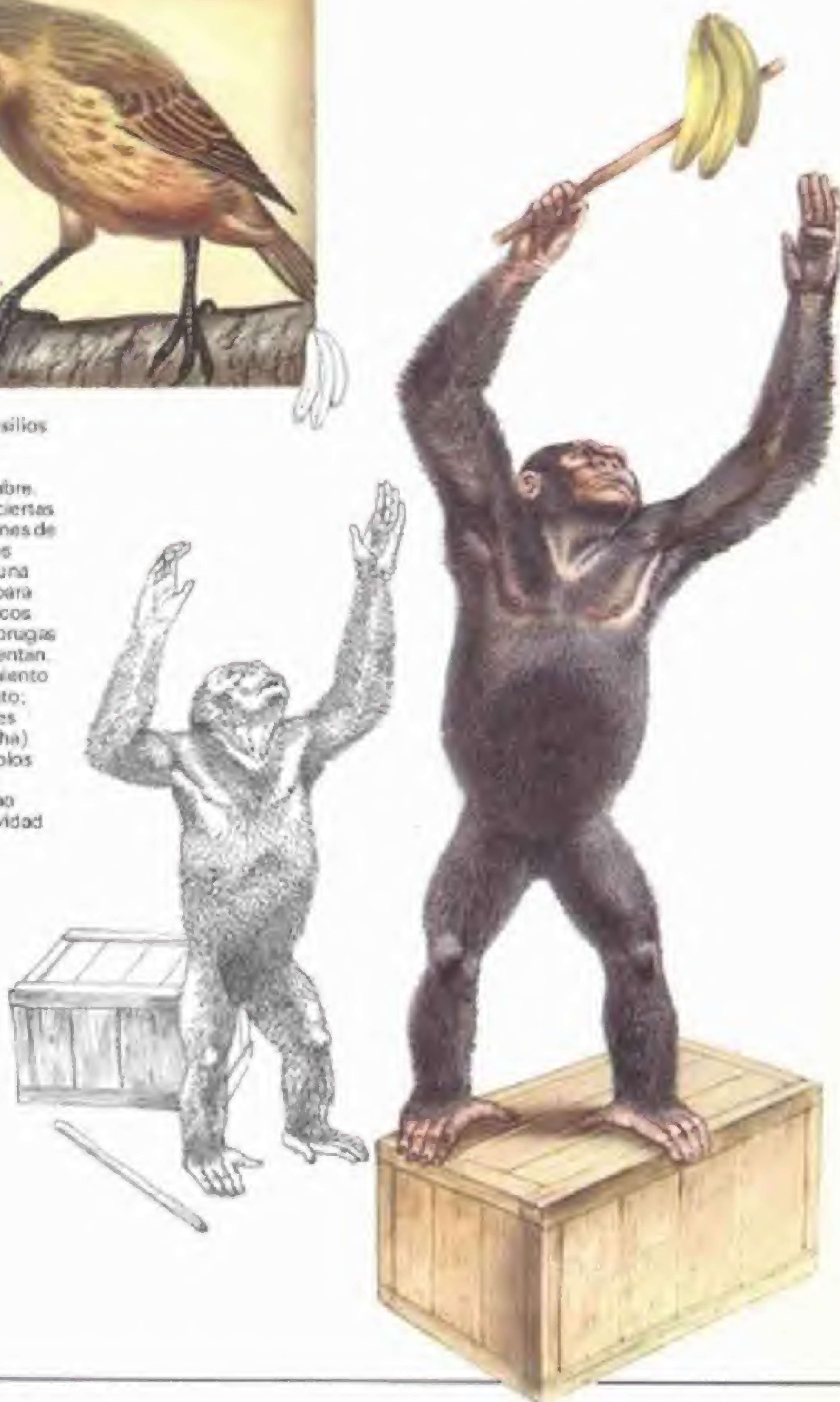
Tanto en el condicionamiento operante como en el respondente (o reflejo condicionado) se da un proceso de reforzamiento, cuya repetición hace cada vez más probable la aparición de la respuesta condicionada.

Hay algunos tipos de aprendizaje que difícilmente pueden explicarse como procesos más o menos complejos de asociación por reforzamiento entre estímulos y respuestas; entre ellos se incluye el *aprendizaje por comprensión*, pues es el más complejo y elevado de los aprendizajes.

El concepto de "comprensión" *(einsicht* en alemán) fue introducido por primera vez hacia 1920 por W. Köhler para explicar la rapidez con que los chimpancés resolvían situaciones complejas de aprendizaje sin necesidad de realizar ningún ensayo previo. En una de sus experiencias más conocidas, Köhler introdujo un chimpancé en un recinto de cuyo techo colgaba un racimo de bananas a una altura tal que no podía alcanzarlas con las manos. Esparcidas por el suelo de la jaula se encontraban también varias cajas de diversos tamaños, con las que el chimpancé había tenido ocasión de jugar anteriormente. Lo primero que hizo el chimpancé fue dar saltos para alcanzar las bananas. Después de varios intentos infructuosos, cesó en sus esfuerzos y se sentó en un rincón, desentendiéndose en apariencia del problema; pero al cabo de un rato se incorporó con decisión, apiló las cajas una encima de otra y se subió sobre ellas, alcanzando así las bananas.

El aprendizaje por comprensión puede definirse como la capacidad de combinar dos o más experiencias de aprendizaje separadas en el tiempo, produciendo una res-





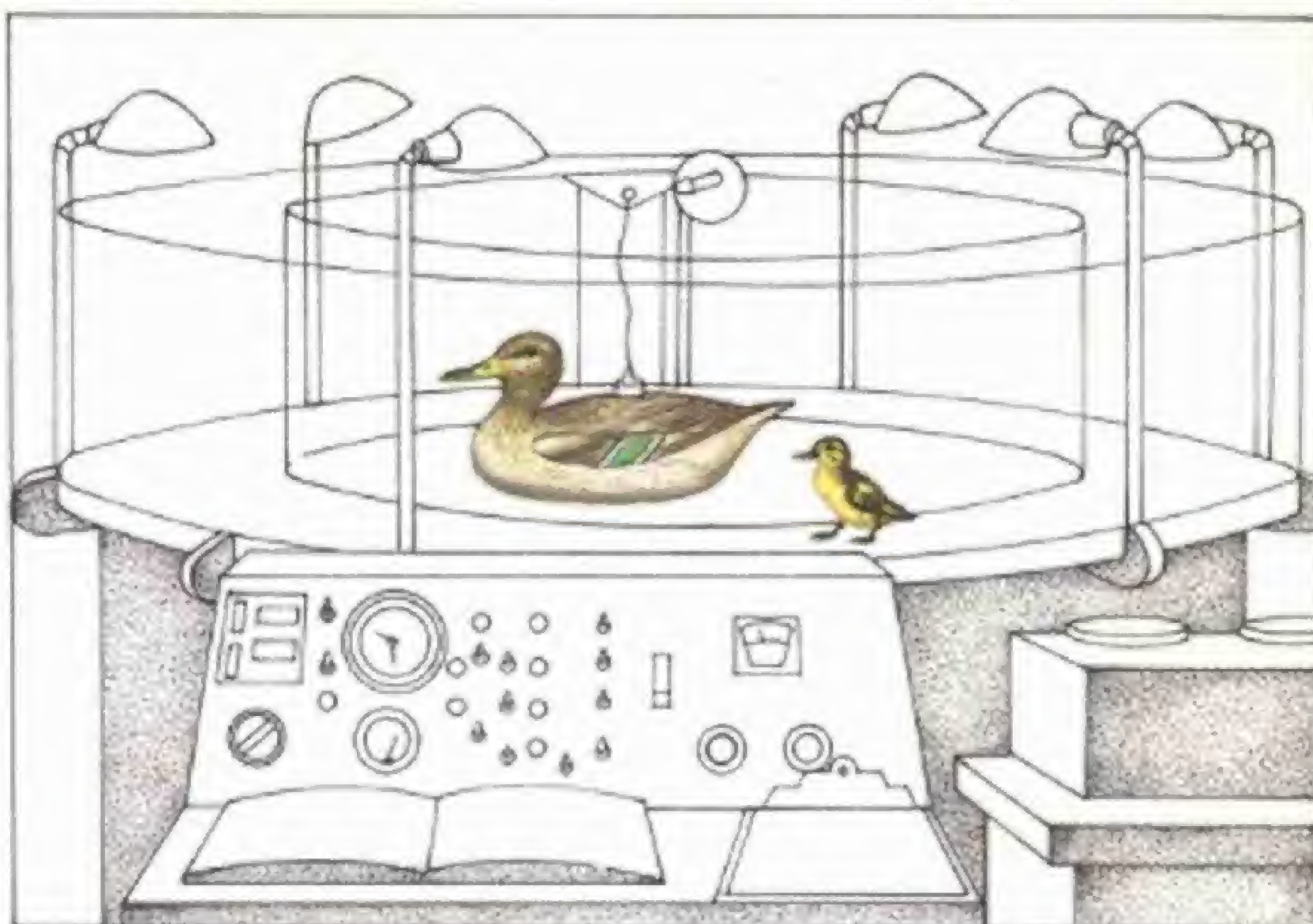
El empleo de utensilios no es un comportamiento exclusivo del hombre. Así, por ejemplo, ciertas especies de pinzones de las islas Galápagos (arriba) emplean una espina de cactus para extraer de los troncos de los árboles las orugas de las que se alimentan. Dicho comportamiento es en esencia innato; sólo en los primates superiores (derecha) se conocen ejemplos de utilización de instrumentos como parte de una actividad inteligente.

puesta nueva con la que se alcanza el fin deseado. En el ejemplo anterior, el chimpancé combinó sus experiencias anteriores de manipulación de las cajas con la experiencia de constatación de la altura de las bananas, de modo que obtuvo una respuesta adecuada al problema.

El aprendizaje por comprensión, del que se han encontrado ejemplos no sólo en los primates sino también en muchos otros mamíferos y en aves, puede considerarse como un verdadero comportamiento inteligente. La inteligencia humana, con sus extraordinarios logros, no sería más que una expresión en grado superlativo de este tipo de aprendizaje.

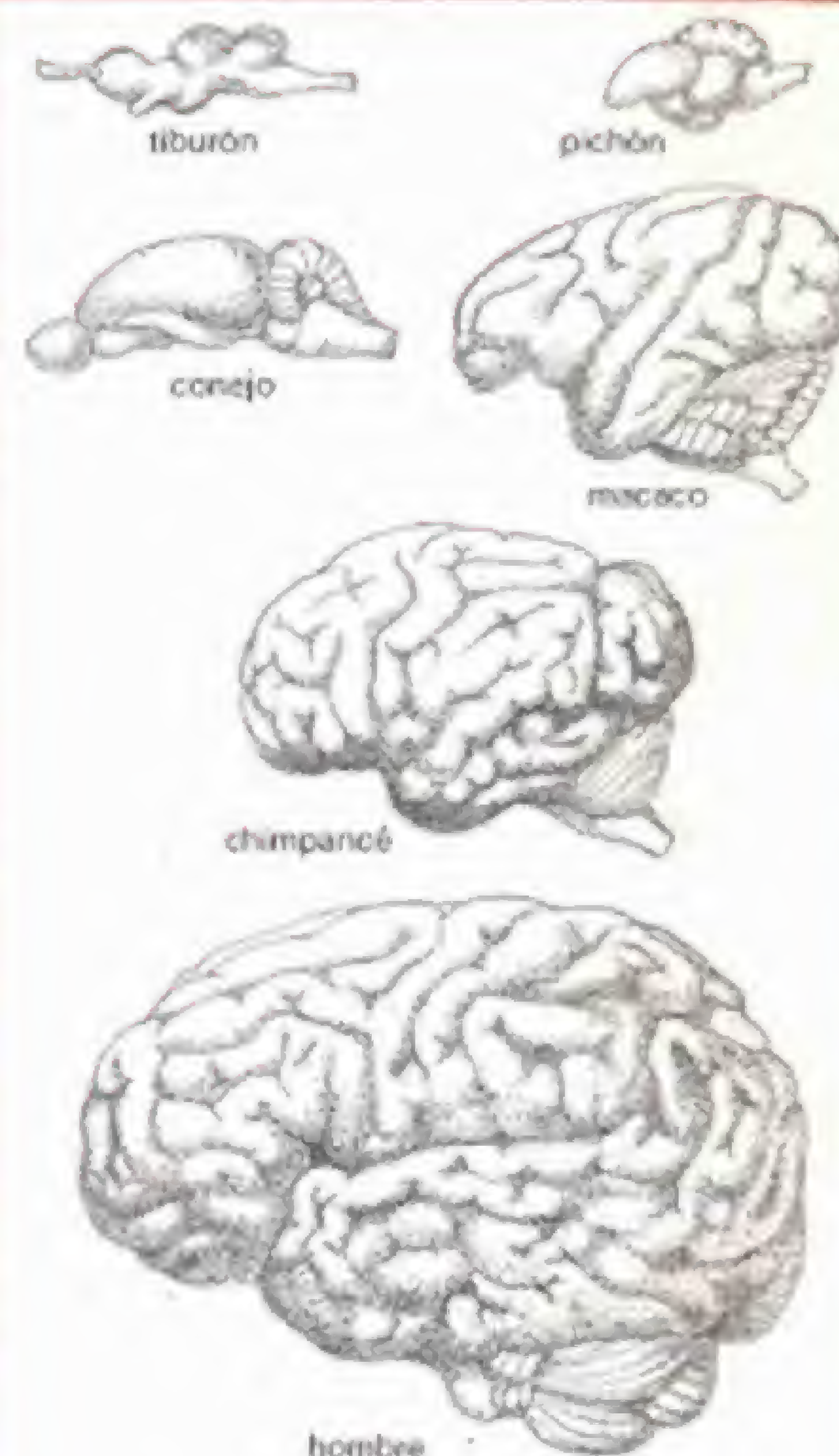
Un tipo muy particular de aprendizaje, con varias características propias, es el de la *impronta*. K. Lorenz ha estudiado exhaustivamente este tipo de aprendizaje en las crías de anátidos. Después de su nacimiento, los patitos siguen el primer objeto que ven moverse; normalmente ese objeto es su madre, pero ésta puede ser sustituida por cualquier otro objeto que se les ponga delante: una pelota, una caja, o el propio experimentador.

La impronta podría definirse como el aprendizaje de una configuración de estímulos particular que desencadena una respuesta innata, y que presenta las siguientes características: a) solamente ocurre en un período muy limitado de la vida del animal —en la respuesta de seguimiento de los anátidos, por ejemplo, dura sólo entre las trece y las dieciséis horas después de nacer—; b) una vez adquirida, la impronta es muy estable, y a veces irreversible; y c) sus consecuencias pueden manifestarse mucho tiempo después del momento de aprendizaje —al llegar a adultos, los ánades macho que de pequeños habían sufrido la impronta del hombre preferían cortejar a seres humanos en vez de a hembras de su propia especie—.

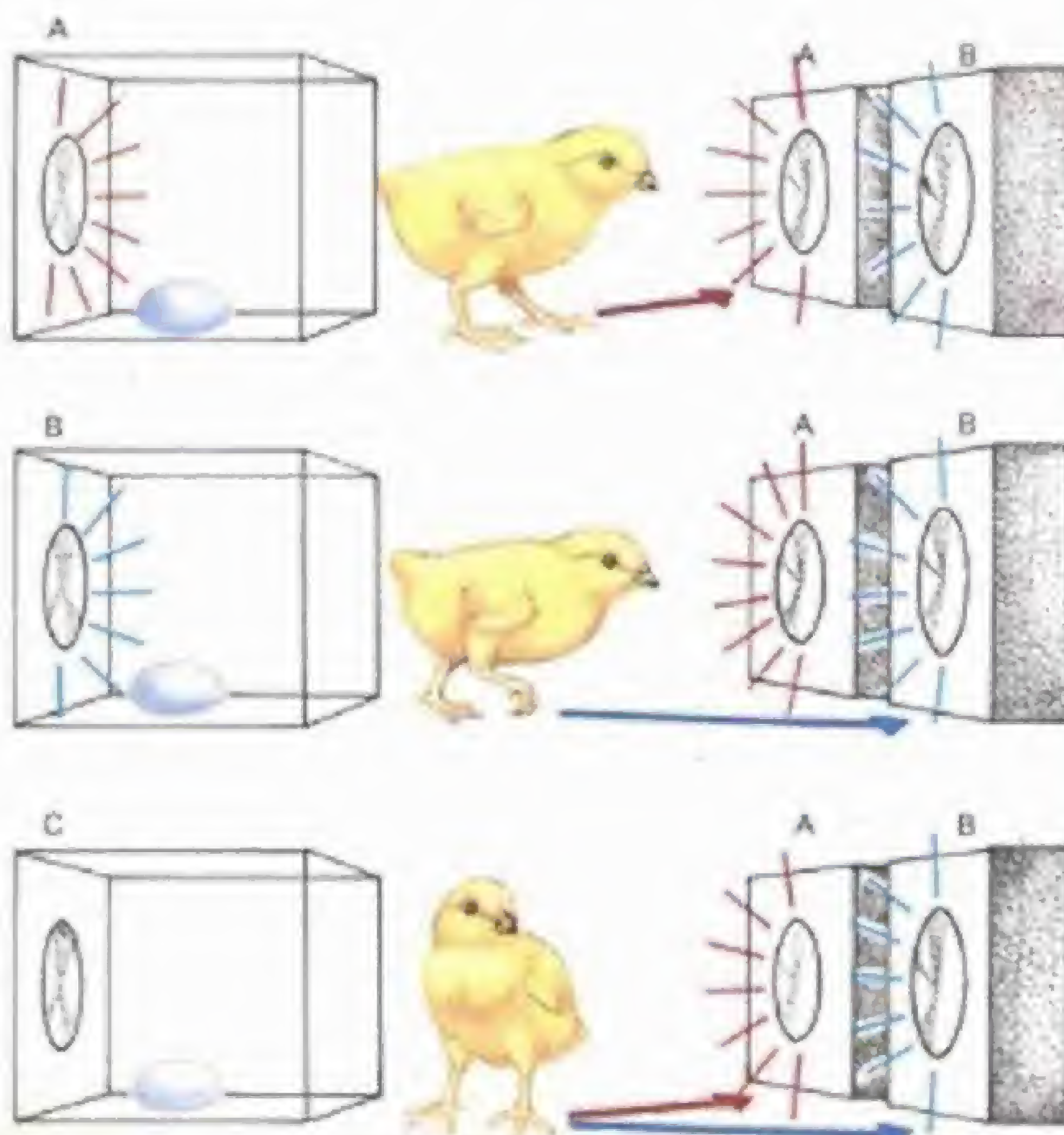


La impronta es un tipo de aprendizaje descubierto por el etólogo austríaco K. Lorenz a principios de este siglo, y estudiado luego por otros investigadores del comportamiento animal. Uno de ellos fue el alemán Eckhard Hess, quien construyó el aparato que se muestra en la ilustración para estudiar este tipo de aprendizaje. El patito objeto de la experimentación circula en pos de su madre artificial.

Véase **Animal; Etología; Evolución animal; Orientación animal, sentido de la; Selección natural**



La capacidad de los centros nerviosos para almacenar la información que reciben del exterior se encuentra en la base de cualquier proceso de aprendizaje. Sobre estas líneas se muestran los dibujos del encéfalo de diversos vertebrados, que ilustran el proceso evolutivo de este centro nervioso en dicho grupo zoológico. En los peces, los anfibios y los reptiles el tamaño del encéfalo es pequeño; en las aves ya se incrementa considerablemente, y en los mamíferos placentarios ese incremento es aún más notable. En el grupo de los primates, el desarrollo del cerebro adquiere un relieve espectacular tanto en tamaño como en complejidad. Gran parte de ese desarrollo se debe a las áreas de asociación, mucho más extensas que las áreas sensoriales o motoras.



Arriba, un experimento de impronta prenatal de tipo auditivo. Dos grupos de pollitos fueron estimulados durante 48 horas antes de salir del huevo con un sonido determinado (A), y otro grupo fue estimulado en las mismas condiciones con un sonido distinto (B). Después de nacer, los pollitos se dirigían sólo hacia el lugar donde se emitía el sonido que habían oído previamente en el interior del huevo. Un grupo de pollitos de control, que no había oído ningún sonido antes de nacer (C), se mostraba indiferente cuando se emitía cualquiera de los dos.

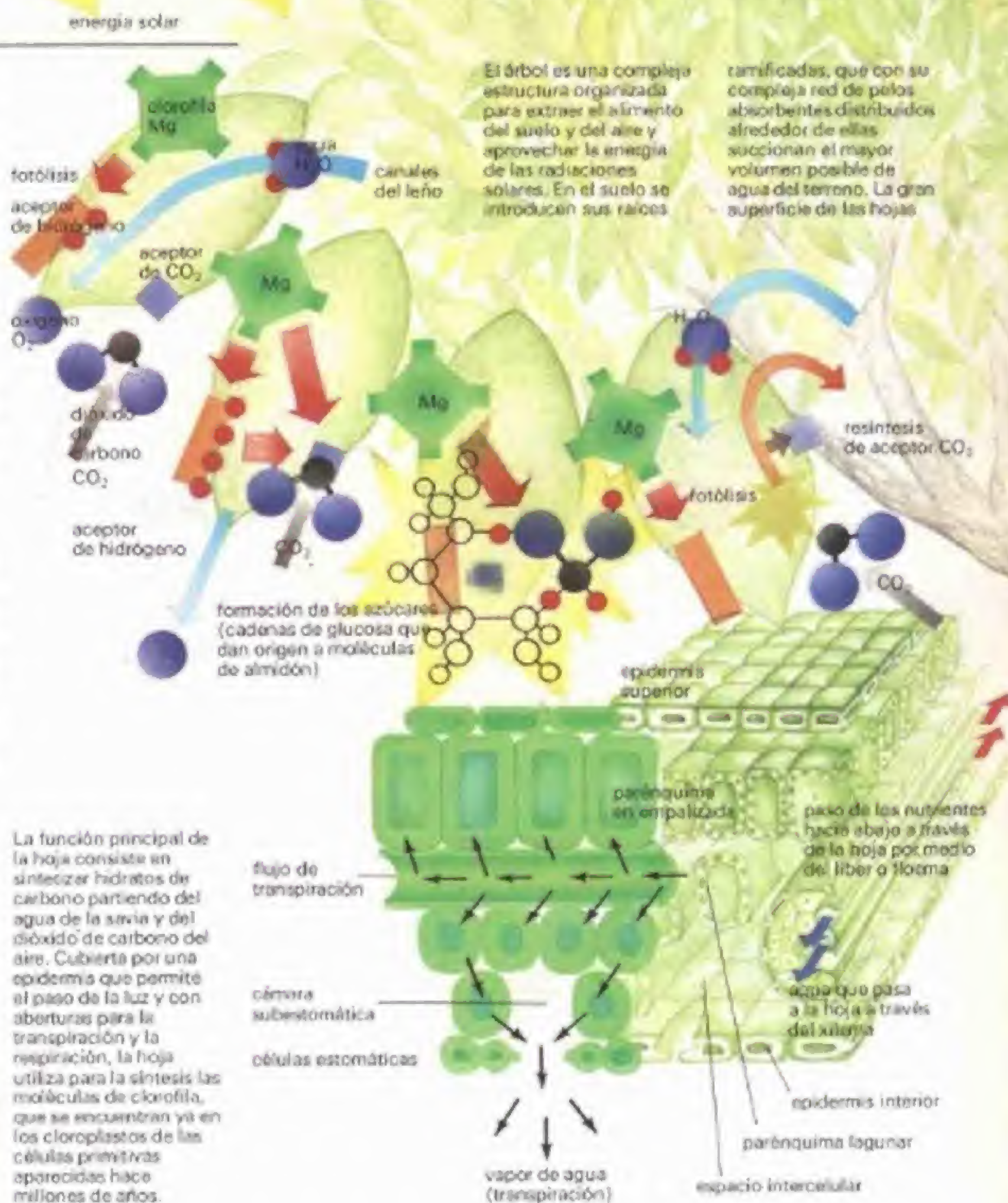
Árbol

Los árboles son plantas fanerógamas leñosas con crecimiento secundario. Tienen un desarrollo vertical de su tallo (*tronco*), del cual arrancan las ramas, y cuya parte inferior profundiza en el suelo con un sistema de raíces proporcional a las dimensiones del tronco y de la copa. Pueden dividirse en dos grupos: *caducifolios* o *de hoja caduca*, que pierden las hojas en la estación fría, y *perennifolios* o *de hoja perenne*, que las conservan durante todo el año.

Los árboles viven de la luz solar, del aire, del agua y de elementos nutritivos del suelo, para cuyo aprovechamiento y captación se sirven de la acción combinada de sus principales componentes: hojas, tronco y raíces.

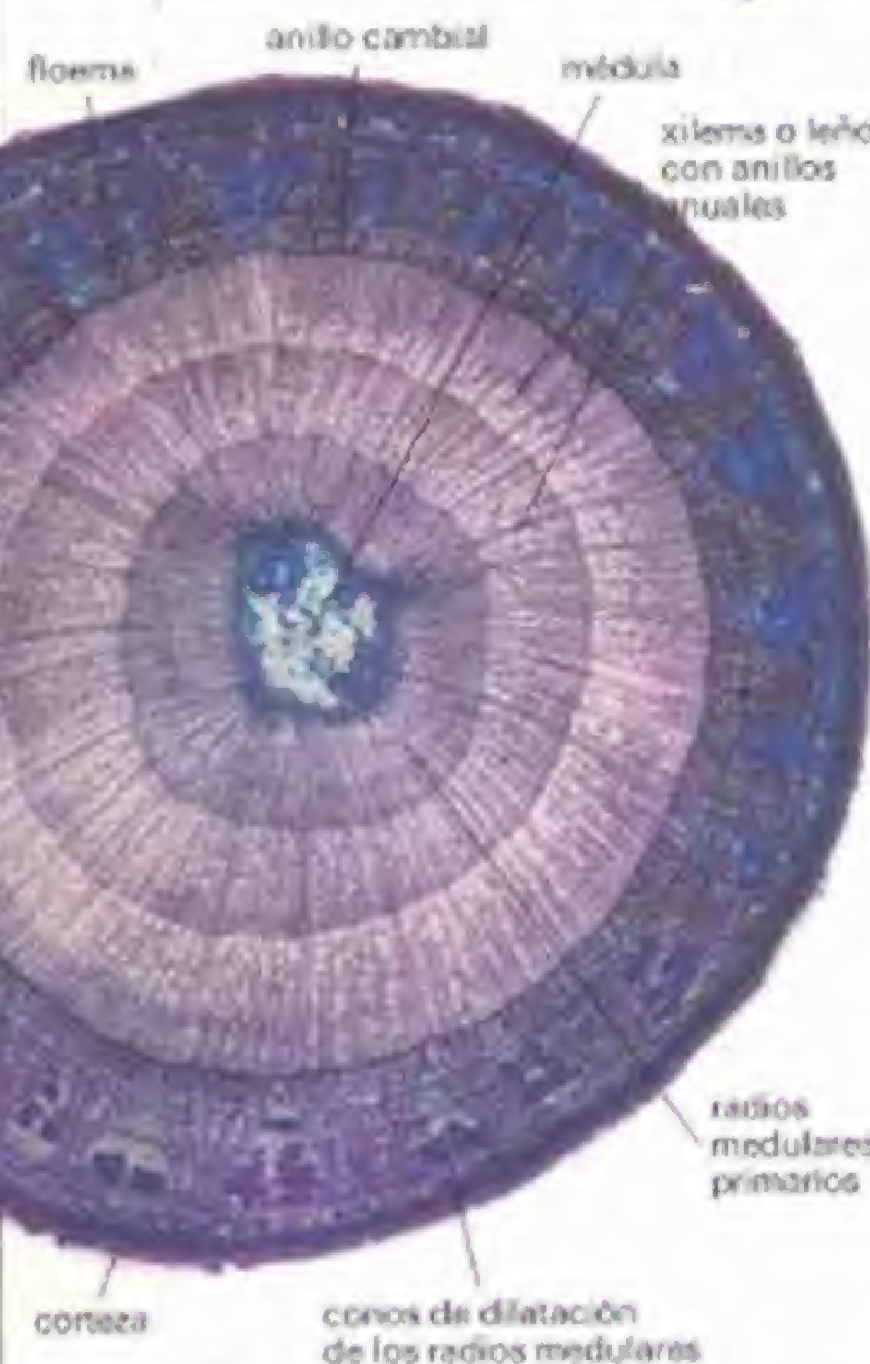
Las hojas Son generalmente de forma plana, con un lado expuesto hacia el sol para poder absorber sus rayos. Absorben el oxígeno y el dióxido de carbono del aire y la luz solar, y pueden ser consideradas como los "pulmones" del árbol. Cada hoja está punteada por pequeñísimos orificios, llamados *estomas*, que permiten la penetración del aire en su interior. En las hojas se encuentran también los *nervios*, que son los que transportan el agua procedente de las raíces, con lo que el árbol se mantiene húmedo y fresco. En las células de las hojas se encuentra la *clorofila*, una sustancia compleja de color verde que les da su color característico. La clorofila se combina con el dióxido de carbono del aire y con el agua de las hojas, y mediante la energía solar produce el elemento de nutrición fundamental del árbol, un líquido similar al agua azucarada. Este proceso se llama *fotosíntesis* y es de vital importancia no solamente para los árboles y para todas las plantas verdes, sino también para los seres humanos. Uno de sus valiosos productos es el oxígeno, que se difunde en el aire a través de los estomas de las hojas. Dado que los seres humanos inspiran oxígeno y emiten dióxido de carbono, y los árboles toman dióxido de carbono y desprenden oxígeno, es evidente la interdependencia entre plantas y hombres. Efectivamente, a través del proceso de fotosíntesis los árboles constituyen la fuente principal del oxígeno que respiramos.

El tronco El alimento elaborado en las hojas se transporta a las diferentes partes del árbol a través de delgados tubitos situados en el *líber*, parte interior de la corteza. Aquí la savia alimenta el *cambium*, el oscuro y sutil anillo celular dispuesto entre el líber y la parte leñosa del tronco. El cambium, protegido por la corteza, es la única parte del tronco que vive y crece efectivamente. Cada año el cambium crece hacia el exterior, contribuyendo a robustecer la corteza, y hacia el interior, con las nuevas células leñosas. La parte más amplia del tronco la constituye el leño pro-



El árbol es una compleja estructura organizada para extraer el alimento del suelo y del aire y aprovechar la energía de las radiaciones solares. En el suelo se introducen sus raíces ramificadas, que con su compleja red de pelos absorbentes distribuidos alrededor de ellas succionan el mayor volumen posible de agua del terreno. La gran superficie de las hojas

La función principal de la hoja consiste en sintetizar hidratos de carbono partiendo del agua de la savia y del dióxido de carbono del aire. Cubierta por una epidermis que permite el paso de la luz y con aberturas para la transpiración y la respiración, la hoja utiliza para la síntesis las moléculas de clorofila, que se encuentran ya en los cloroplastos de las células primitivas aparecidas hace millones de años.



El tronco de los árboles desarrolla la importante función de unir sólidamente la copa y las raíces. Como la fuerza que tiene que soportar el árbol es menor en la parte superior, el grosor de su tronco aumenta a medida que se acerca a la base. El desarrollo de la planta hace que se alargue y engorde, permitiéndole mantener siempre la forma en disminución hacia arriba. A través del tronco tiene lugar un importante intercambio de líquidos nutritivos entre la copa y las raíces. El problema del crecimiento en la planta se resuelve añadiendo nuevos anillos de leño o xilema. En microfotografía, sección de un tronco joven de tilo. Son claramente visibles la médula o corazón en el centro y, alrededor, cuatro anillos de crecimiento anual cruzados por los radios medulares.

esbozos foliares del tallo primario

desarrolla la doble función: mantener el contacto con la atmósfera, de la que toma el dióxido de carbono, y una amplia exposición a la luz solar, de la que también proviene la energía que activa la síntesis de los hidratos de carbono. El tronco es la estructura mecánica que une las dos partes extremas, permitiendo a cada una desarrollar su actividad.

ápice vegetativo

primordios de las ramas

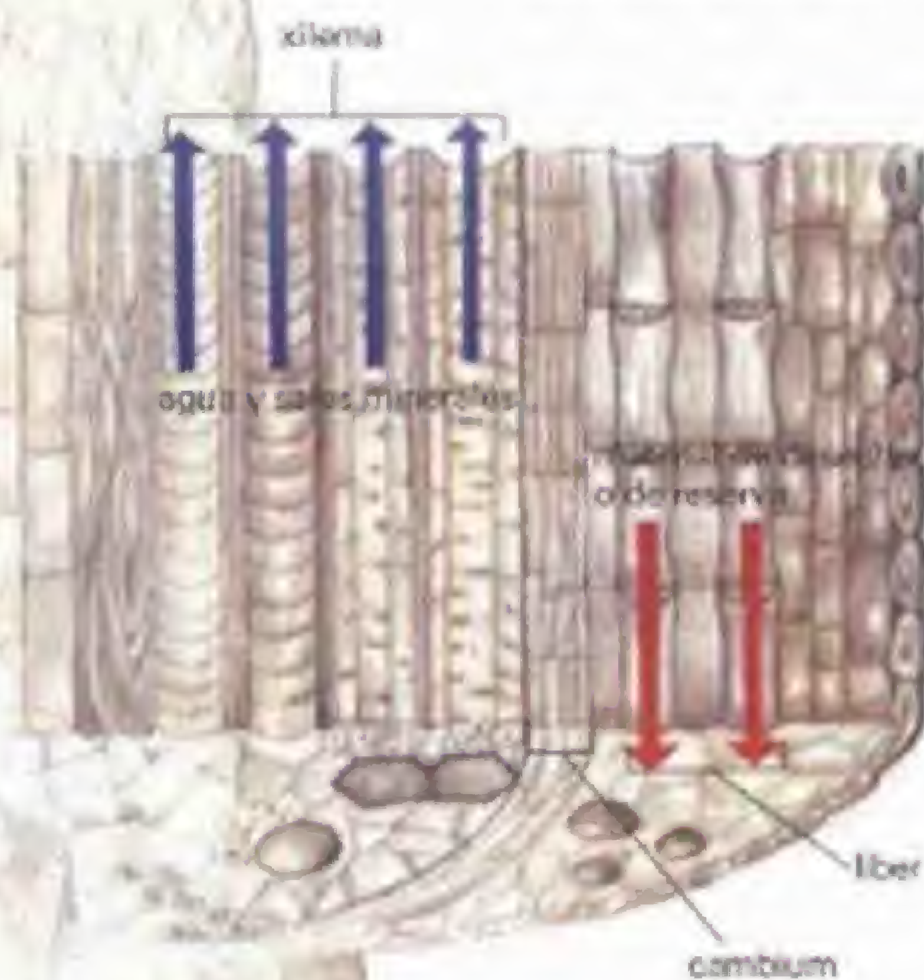
piamente dicho o *xilema*. El anillo exterior del leño, la *albura*, está formado por células tubulares que llevan el agua desde las raíces a las hojas. Cada año las células más externas de la albura crecen gracias al cambium (anillos anuales). Un año después, esa parte de la albura pierde la capacidad de "transportar" agua y asimila todo el material de desecho procedente del metabolismo de la planta. Una nueva capa la sustituirá. Cuando se tala un árbol, puede establecerse su edad por los anillos existentes.

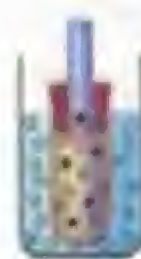
Las raíces Además de fijar el árbol sobre el terreno, las raíces realizan la absorción de agua y minerales del suelo para mandarlos a las hojas. Están revestidas de fibras muy sutiles que como una esponja absorben el agua; ésta se mezcla con los minerales del suelo y con sustancias producidas por las células de las plantas formando la *savia*, que circula en el interior del tronco a través de pequeños conductos ramificados constituidos por finas células vasculares.

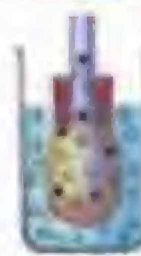
La savia La savia (solución acuosa de sales minerales) presente en la nervadura de las hojas no sólo contribuye a la realización de la fotosíntesis, sino que también impide que la luz solar directa recaliente las hojas. Esto se produce por efecto de la transpiración. No se conoce con certeza cómo tiene lugar la transpiración. Se sabe que las moléculas de agua tienden a unirse entre ellas, y se piensa que cuando la nervadura de una hoja segrega una pequeña cantidad de agua, se crea un espacio vacío que las restantes moléculas de agua ocupan enseguida.

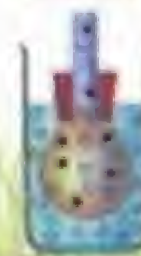
Véase **Bosque; Fotosíntesis; Hoja; Raíz; Semillas; Suelo**

La raíces constituyen un sistema de conducciones ramificado en sutiles pelos absorbentes que son las extremidades dispuestas para recoger el agua del suelo. Esta es succionada por ósmosis y, después de un cambio en el interior de las células radicales, se enriquece con sustancias nutritivas, sube como savia bruta por el xilema hacia las hojas. Desde aquí volverá a bajar hacia las raíces, enriquecida con las sustancias que ha recogido y que serán distribuidas por toda su estructura. Las raíces, además de agua, absorben del suelo las sales minerales, indispensables para la nutrición y desarrollo de la planta.









OSMOSIS. El proceso fundamental que regula el movimiento de los fluidos entre las distintas células del árbol o entre el suelo y los pelos radicales se llama ósmosis. Si se sumerge en agua pura un saquito de membrana semipermeable que contenga sales disueltas en agua (puntos negros), esta solución salina absorbe disolvente puro que hincha el saquito y aumenta la presión, haciendo entrar el líquido en su interior. Este fenómeno explica cómo la savia puede subir desde las raíces a las hojas.

agua + sales minerales

intercambio osmótico

epidermis

líber

conductor acuífero

absorción por ósmosis

células corticales

meristemo

pelo radical

xilema

Indice
Volumen I

